



TUGAS AKHIR - TE 091399

Algoritma Kalman Filter Terdistribusi Pada Jaringan Sensor Network

Evan Satya Prabowo
NRP 2208 100 143

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Wirawan DEA

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TE 091399

Algorithm Distributed Kalman Filter in Wireless Sensor Network

Evan Satya Prabowo
NRP 2208 100 143

Lecture Advisor
Dr. Ir. Wirawan DEA

ELECTRICAL ENGINEERING MAJOR
Industry Technology Faculty
Sepuluh Nopember Technology Institute
Surabaya 2014

**ALGORITMA KALMAN FILTER TERDISTRIBUSI
PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing,



Dr. Ir. Wirawan DEA
NIP. 1963 11 09 1989 03 1011



ABSTRAK

Jaringan Sensor Nirkabel (Wireless Sensor Network) adalah hal baru dalam perkembangan Jaringan Sensor (Sensor Network) yang mempunyai potensi yang sangat bagus dalam pemanfaatan potensi alam. Banyak aplikasi yang mulai memanfaatkan teknologi Jaringan Sensor Nirkabel (Wireless Sensor Network) seperti alat pendukung pemberi informasi trafik dalam dunia telekomunikasi, pendukung pemberi informasi tentang kondisi lalu lintas, eksplorasi dan pemantauan lahan, penanggulangan bencana, pengintaian medan perang, pemberi informasi temperatur, cahaya, getaran, dan lain lain.

Algoritma Kalman Filter banyak diterapkan pada sistem dinamik stokastik. Model matematika dari masalah-masalah fisis di alam dapat dinyatakan dalam bentuk eksplisit, tetapi ada masalah-masalah yang hanya bisa dinyatakan dalam bentuk implisit. Sampai saat ini Kalman Filter lebih banyak diterapkan pada sistem dinamik stokastik eksplisit

Pada tugas akhir ini, akan dibandingkan antara algoritma Kalman Filter terdistribusi tanpa melalui consensus dan algoritma Kalman Filter terdistribusi dengan melalui consensus. Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi Algoritma Kalman Filter dengan menggunakan consensus didapatkan nilai 54.2610C sedangkan pada Algoritma Kalman Filter yang diterapkan pada setiap node didapatkan nilai 34.23870C pada node 1, 48.69340C pada node2, dan 64,03870C pada node 3.

Kata kunci: Kalman Filter, Star, Jaringan Sensor Network

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

ABSTRACT

Wireless Sensor Network is a new thing in the development of sensor network which has very good potential in the utilization of natural potential. Many applications start utilizing technology Wireless Sensor Network as a tool too support providers of traffic information in the world of telecommunications, information providers supporters on traffic conditions, exploration and land monitoring, disaster response, battlefield surveillance, informers temperature, light, vibrations, and others.

. Kalman filter algorithm is applied to many stochastic dynamic systems. Mathematical model of the problem that can only expressed in implicit form. Until now, the Kalman Filter applied to the more explicit stochastic dynamic systems.

In this final project, will be compared between the Kalman filter algorithm is distributed without consensus and Kalman filter algorithms distributed through consensus. Based on the results obtained from simulations using the Kalman filter algorithm consensus 54.2610C whereas the values obtained Kalman filter algorithm is applied to each node in the node values obtained 34.23870C 1, 48.69340C on node2, and 64.03870 C at node 3.

Keywords : Distributed Kalman Filter, star, Wireless Sensor Network

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar-besarnya yang penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, dengan memberi kesabaran, semangat yang tiada hentinya, rasa percaya diri yang tinggi, rasa pantang menyerah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Algoritma Kalman Filter Terdistribusi pada Jaringan Sensor Network**. Tugas akhir yang mempunyai beban 4 SKS ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi S1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Melalui kegiatan ini mahasiswa dapat melakukan kegiatan laporan yang bersifat penelitian ilmiah dan menghubungkannya dengan teori yang selama ini dipelajari dalam masa perkuliahan.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang turut membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yaitu kepada:

1. Bapak Dr.Ir. Wirawan DEA, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Kedua Orang Tua, kakak, adik, dan saudara-saudara penulis yang tidak henti-hentinya memberikan semangat, doa, dan dukungan moral bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Muhammad Hilman Fathoni S.T,M.T dan Muhammad Fadil Erdiansyah S.T yang dengan ikhlas dan sepenuh hati bersedia membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dosen-dosen penguji yang memberikan saran dan kritik dalam membantu penyempurnaan isi dari buku Tugas Akhir.
5. Keluarga dari K-24 yang tidak henti-hentinya memberikan nasehat dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Keluarga besar Kalpataru yang selalu menemani disaat penulis butuh penyegaran dan memberi semangat sampai detik-detik akhir pengerjaan.

7. Teman-teman seperjuangan khususnya Musa, Mas Fikri, Mas gigo, Mas Akbar, Mbah Haji, Mas Rukin, Lek Thunk, Kenyuk, Galang, mbah Rosi yang selama ini menemani penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Aulice Kristianty yang tidak henti-hentinya memberikan semangat dan dukungan moral dalam penyelesaian Tugas Akhir.
9. Anak-anak Duro yang tak henti-hentinya memberi motivasi agar penulis selalu semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir.
10. Semua teman-teman dan orang-orang yang tidak bisa disebutkan semuanya yang telah memberi motivasi dalam mengerjakan Tugas Akhir.

Besaran harapan penulis bahwa buku Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro pada khususnya.

Surabaya , Juni 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	Error! Bookmark not defined.
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4
BAB II TEORI PENUNJANG	5
2.1 Graph	5
2.2 Wireless Sensor Network.....	6
2.2.1 Komponen Penyusun Jaringan Sensor	7
2.2.2 Topologi Jaringan	9
2.2.3 Karakteristik Jaringan Sensor	9
2.2.4 Model Penyebaran Sensor.....	11
2.2.5 Implementasi Jaringan Sensor Nirkabel.....	12
2.2.6 Model Deteksi Sensor	13
2.3 Pemodelan Perilaku Penyebaran Api.....	16
2.4 Macam-macam Algoritma yang Digunakan dalam Jaringan Sensor Network	17
2.5 Algoritma Kalman Filter Terdistribusi	18
BAB III PERENCANAAN dan SIMULASI SISTEM.....	21
3.1 Perencanaan	21
3.2 Topologi Jaringan	21
3.3 Metodologi penelitian	21

3.3.1	Penyebaran Node Sensor	22
3.3.2	Pengukuran Obyek Terhadap Sumber.....	23
3.4	Sensor	24
3.4.1	Model Penyebaran Sensor	24
3.4.2	Model Deteksi Sensor	24
3.5	Pemodelan Sumber Api.....	25
3.6	Tahapan Optimasi Data dengan Algoritma konsensus	26
3.7	Tahapan Pembacaan Sensor Menggunakan Kalman Filter	28
3.8	Tahapan Pengestimasi Kalman Filter menggunakan konsensus..	28
BAB IV ANALISA HASIL SIMULASI dan PEMBAHASAN		31
4.1	Pendahuluan	31
4.2	Analisa dari Pemodelan Sumber	32
4.3	Analisa Kinerja Node Sensor	32
4.3.1	Model Penyebaran Node Sensor	32
4.3.2	Konektivitas Node Sensor Aktif.....	34
4.3.3	Model Deteksi Sensor Aktif terhadap Sumber	35
4.4	Simulasi Algoritma konsensus Terdistribusi	35
4.5	Analisa hasil dari simulasi menggunakan algoritma Kalman Filter terdistribusi.....	37
4.6	Analisa hasil dari simulasi menggunakan algoritma Kalman Filter terdistribusi dengan melalui tahap konsensus	40
4.6	Simulasi pengamatan dengan posisi sumber api yang berbeda ...	41
BAB V PENUTUP		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		51
RIWAYAT HIDUP		53
Lampiran		55

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 3.1	Parameter Simulasi Node Sensor.....	23
Tabel 3.2	Parameter Simulasi Sumber Sinyal	24
Tabel 4.1	Pengaruh Jarak Terhadap Suhu dan Intensitas Radiasi api	30
Tabel 4.2	Kedudukan Node Aktif dan Pembacaan Suhu	33
Tabel 4.3	Hasil pembacaan Kalman Filter tiap node	38
Tabel 4.4	Hasil pembacaan Kalman Filter hasil konsensus	39

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Ilustrasi dari sebuah Graph	5
Gambar 2.2 Arsitektur Jaringan Sensor Nirkabel Secara Umum. ...	6
Gambar 2.3 Komponen penyusun <i>Wireless Sensor Network</i>	7
Gambar 2.4 Model penyebaran sensor	11
Gambar 2.5 Ilustrasi pemodelan penyebaran api	16
Gambar 3.1 Topologi jaringan Star	19
Gambar 3.2 Diagram alir metodologi percobaan	20
Gambar 3.3 Contoh penyebaran node sensor	21
Gambar 3.4 Blok diagram perhitungan konsensus	25
Gambar 3.5 Blok diagram perhitungan Kalman Filter	27
Gambar 3.6 Diagram blok penyebaran dan pengukuran suhu awal.....	27
Gambar 4.1 Penyebaran sensor dan ruang lingkup sumber.....	31
Gambar 4.2 Konektivitas antar node satu dengan yang lain menggunakan topologi star.....	32
Gambar 4.3 Matriks adjacency node sensor aktif topologi star.....	32
Gambar 4.4 Matriks Degree dari node sensor topologi star	33
Gambar 4.5 Matriks Laplacian dari node sensor topologi star	33
Gambar 4.6 Hasil dari simulasi algoritma consensus terdistribusi	34
Gambar 4.7 Matriks transisi	35
Gambar 4.8 Matriks nilai A	35
Gambar 4.9 Matriks nilai Bw	35
Gambar 4.10 Matriks nilai Cm	35
Gambar 4.11 Matriks nilai Kalman gain	36
Gambar 4.12 Hasil estimasi menggunakan Kalman filter node 1....	36
Gambar 4.13 Hasil estimasi menggunakan Kalman filter node 2....	37
Gambar 4.14 Hasil estimasi menggunakan Kalman filter node 3....	37
Gambar 4.15 Hasil estimasi menggunakan Kalman filter Melalui tahapan consensus	37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penginderaan manusia adalah salah satu cara untuk mengumpulkan informasi, memperoleh pengetahuan, dan membuat keputusan yang dapat diandalkan. Jaringan sensor nirkabel atau *wireless sensor network* (WSN) meniru kemampuan kecerdasan manusia ini, tetapi pada skala yang lebih luas, dengan lebih cepat, lebih murah, dan cara yang lebih efektif sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi.

WSN adalah sebuah jaringan yang tersusun atas berbagai *sensor node* yang memiliki kemampuan penginderaan, komunikasi secara nirkabel dan juga komputasi. Sebuah *sensor node* memiliki dua komponen, yaitu *mote* dan sensor. Sensor selalu melekat pada *mote*. *Mote* bertanggung jawab untuk penyimpanan komputasi dan komunikasi, sedangkan sensor bertanggung jawab untuk penginderaan fenomena fisik seperti suhu, cahaya, suara, getaran, dan lain sebagainya.

Sensor Node mengumpulkan data dan dapat melakukan pengolahan di jaringan pada data yang dikumpulkan di *intermediate node* sebelum meneruskan ke pusat pengumpulan (*sink* atau *base station*) untuk analisis atau pengolahan lebih lanjut. Sensor di WSN memiliki pembacaan yang tidak akurat. Maka dari itu perlu ditambahkan suatu metode untuk menghasilkan pembacaan sensor yang lebih akurat.

Pada tugas akhir ini, akan dibandingkan antara algoritma Kalman Filter terdistribusi tanpa melalui konsensus dan algoritma Kalman Filter terdistribusi dengan melalui konsensus. Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi Algoritma Kalman Filter dengan menggunakan konsensus didapatkan nilai 54.261°C sedangkan pada Algoritma Kalman Filter yang diterapkan pada setiap node didapatkan nilai 34.2387°C pada node 1, 48.6934°C pada node2, dan $64,0387^{\circ}\text{C}$ pada node 3.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana mensimulasikan model penyebaran sensor dengan distribusi *uniform*?
2. Bagaimana memodelkan topologi *star network*?
3. Bagaimana melakukan deteksi sensor aktif dengan deteksi biner?
4. Bagaimana menentukan pembacaan sensor dalam WSN?
5. Bagaimana menentukan pembacaan sensor menggunakan algoritma Kalman Filter terdistribusi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Mensimulasikan pembacaan fenomena fisik oleh sensor.
2. Mensimulasikan pembacaan sensor menggunakan Kalman Filter dengan konsensus atau tanpa konsensus.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Luas daerah yang digunakan 100x100 m.
2. Model penyebaran sensor menggunakan distribusi uniform.
3. Model deteksi sensor menggunakan model deteksi biner.
4. Fenomena fisik yang dibaca sensor adalah suhu api.
5. Topologi yang digunakan adalah topologi star.
6. Algoritma yang digunakan adalah *Distributed Kalman Filter*.
7. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software MATLAB R2011a

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini dilaksanakan sesuai dengan metodologi dan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Studi literatur

- Mengumpulkan, mempelajari dan mencari artikel, jurnal ilmiah, serta sumber lain yang berhubungan dengan konsep Algoritma Kalman Filter terdistribusi pada jaringan sensor network.
2. Parameter dalam estimasi studi
Pemodelan distribusi sensor, pemodelan topologi, dan pemodelan perambatan suhu api
 3. Penyusunan buku tugas akhir
Menyusun buku tugas akhir yang berisi pendahuluan, teori penunjang, metodologi penelitian, analisa data, dan kesimpulan dari semua metode yang dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- Bab 1 : Pendahuluan
Bagian pendahuluan berisi tentang latar belakang, maksud dan tujuan penulisan, perumusan masalah, pembatasan masalah, dan metode penelitian yang digunakan, serta sistematika penulisan.
- Bab 2 : Dasar Teori
Pada bab ini berisi teori pendukung yaitu tentang asal, desain, topologi, aplikasi atau implementasi jaringan sensor, teori tentang *Distributed Kalman Filter* pada *Wireless Sensor Network*.
- Bab 3: Perancangan dan Simulasi Sistem
Bab ini berisi tentang metodologi penelitian perhitungan pendeteksian sumber oleh sensor dan pembacaan sensor menggunakan algoritma *Distributed Kalman Filter*.
- Bab 4 : Analisa Hasil Simulasi dan Pembahasan
Pada bab ini berisi tentang hasil perhitungan dan analisa pendeteksian sumber oleh sensor dengan menggunakan algoritma *Distributed Kalman Filter*.
- Bab 5 : Penutup
Bab ini berisi tentang kesimpulan yang terkait dengan perhitungan dan analisa serta saran yang diperlukan bagi pengembangan lebih lanjut.

1.7 Relevansi

Hasil dari tugas akhir ini diharapkan untuk bisa membandingkan ketelitian dan keakuratan dalam pembacaan sensor dan dapat menjadi referensi untuk mempelajari tentang jaringan sensor nirkabel.

BAB II

TEORI PENUNJANG

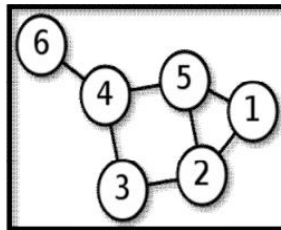
2.1. Graph

Graph adalah kumpulan titik yang mungkin terhubung maupun tidak terhubung dengan titik lainnya dengan garis. Tidak penting seberapa besar titik itu, atau seberapa panjang garisnya, atau apakah garis itu lurus atau melengkung. Dan titik itu tidak mesti harus bulat. Node merupakan obyek random yang dapat berupa seperti WSN, atom, dan kota.

Sementara itu busur merupakan relasi yang dapat menghubungkan antara objek-objek tersebut, sehingga objek tersebut mempunyai makna. Secara umum, graph dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G = \{V, E\} \quad (2.1)$$

Dengan G merupakan Graph sementara itu E merupakan busur dan V merupakan simpul/vertex. Apabila terdapat dua buah node n dan l , dan sementara itu jarak dari node n dan l pada Graph G dapat kita notasikan sebagai $m(n, l)$. Notasi dari $m(n, l)$ adalah merupakan panjang lintasan terpendek dari n ke l . Jika tidak ada lintasan pada titik n dan l maka $m(n, l) = \infty$.



Gambar 2.1 Ilustrasi dari sebuah graph

Berdasarkan dari arah busur, Graph dapat kita bagi menjadi dua buah, yaitu *directed* graph (graph berarah) dan *undirect* graph (graph tidak berarah). *Directed* graph (graph berarah) merupakan graph yang pada setiap busurnya memiliki arah. Sementara itu *undirect* graph (graph

tidak berarah) merupakan sebuah graph yang pada setiap busurnya tidak memiliki arah.

Struktur *edge* pada graph dengan N node dideskripsikan dengan matriks $N \times N$, dimana $A_{n1}=1$ jika $(n,1) \in E$ dan lainnya bernilai 0. Dari degree yang didapatkan dapat diperoleh suatu matrix diagonal $D = \text{diag}(A.1)$. Matrix Laplacian (L) dari suatu graph dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$L = D - A \quad (2.2)$$

Dimana D dan A adalah matriks degree dan adjajency dari G

Pada tugas akhir ini, *graph* yang digunakan adalah *graph* sederhana dan *graph* hingga. *Graph* sederhana merupakan *graph* yang tidak memiliki *selfloop* dan sisi rangkap (*multiple edge*). *Selfloop* adalah sisi yang menghubungkan suatu node sensor dengan dirinya sendiri. Jika terdapat dari satu sis yang menghubungkan dua node sensor, maka sisi tersebut disebut sisi rangkap. Sedangkan *graph* hingga didefinisikan sebagai *graph* yang mempunyai orde terbatas.

2.2. Wireless Sensor Network

Sebuah jaringan nirkabel yang terdiri dari perangkat-perangkat yang secara mandiri terdistribusi di berbagai tempat terpisah yang menggunakan sensor untuk memantau keadaan fisik maupun lingkungan sekitar. Perangkat-perangkat ini atau biasa disebut node, kemudian dikombinasikan dengan router dan gateway untuk membentuk sebuah sistem jaringan sensor nirkabel. Data yang diperoleh node sensor kemudian dikirim secara nirkabel ke central gateway. Dari central gateway inilah data kemudian dapat diolah dan dianalisa sesuai dengan kebutuhan penggunaan. Jaringan sensor nirkabel banyak diaplikasikan dalam kegiatan yang mendukung kegiatan sehari-hari maupun untuk keperluan militer.

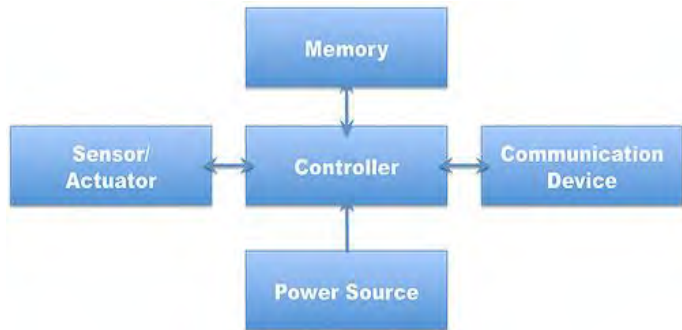


Gambar 2.2 Arsitektur jaringan sensor nirkabel secara umum

Node pada jaringan sensor nirkabel terdiri dari beberapa komponen diantaranya sensor, baterai, mikrokontroler, dan sirkuit analog. Dalam sistem berbasis baterai, pengiriman data yang semakin besar dan semakin besarnya frekuensi yang digunakan dapat menimbulkan penggunaan daya yang lebih besar pula.

2.2.1 Komponen Penyusun Jaringan Sensor

Node dalam WSN seringkali juga disebut sebagai “mote”. Pada dasarnya adalah sebuah komputer (hasil dari evolusi komputer saat ini), walaupun bentuk dan kemampuannya tidak seperti umumnya komputer yang kita gunakan saat ini karena kemampuan yang masih terbatas dan ukurannya yang cukup kecil (*smart dust*), tetapi fungsi mereka seperti komputer pada umumnya dan tentu saja semakin hari kemampuannya pun semakin meningkat. Mote dilengkapi alat pemroses (CPU), memori, sejumlah antarmuka Input/Output yang dapat diprogram (terintegrasi pada mikrokontroler), transceiver untuk komunikasi radio, sumber daya energi yang umumnya menggunakan baterai, dan beberapa peralatan tambahan yang dapat disertakan sesuai kebutuhan. Gambar 2.3 . Memperlihatkan komponen utama penyusun sebuah mote



Gambar 2.3. Komponen penyusun *Wireless Sensor Network*

Fungsi dan kemampuan mote berbeda-beda, berikut beberapa jenis mote dalam WSN:

- **Sensor node:** yaitu node yang berfungsi untuk membaca data lingkungan atau objek yang dipantau. Untuk keperluan pembacaan atau penginderaan, node ini dilengkapi dengan satu atau beberapa perangkat sensor. Dari kemampuannya, node ini dapat dibagi menjadi dua jenis. Pertama, Node dengan kemampuan standar (Mis: Proyek *Hydra*), dan kedua yaitu Node yang telah dilengkapi fasilitas yang lebih kaya seperti CCD camera, wireless LAN, *logger*, *Webserver*, dsb (Mis: Proyek *FieldServer*). Node jenis kedua ini juga mampu melakukan komputasi yang lebih kompleks dibanding jenis pertama.
- **Router:** yaitu node yang berfungsi untuk meneruskan paket data dari sebuah node ke node lain. Node ini berguna untuk keperluan komunikasi multi-hop. Dalam aplikasi nyata, kita dapat memprogram sebuah Sensor Node bertindak sebagai router.
- **Sink Node:** yaitu node yang berfungsi untuk mengumpulkan data penginderaan dari Sensor Node, kemudian meneruskannya ke perangkat atau sistem lain, seperti ke database server untuk penyimpanan. Selain untuk mengumpulkan data dari sensor node, sink juga berfungsi sebagai penyebar paket dari perangkat atau sistem lain ke WSN, misalnya untuk keperluan pemrograman atau konfigurasi ulang sensor node secara remote.

2.2.2 Topologi Jaringan

Ada beberapa topologi jaringan untuk mengkoordinasikan wireless sensor network, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Topologi star
Topologi ini merupakan topologi paling dasar, dimana setiap node mempertahankan satu jalur komunikasi langsung dengan gateway. Topologi ini sederhana, namun membatasi jarak keseluruhan yang dapat dicapai.
2. Topologi cluster/Tree
Arsitektur topologi cluster lebih kompleks dibandingkan dengan topologi star. Setiap node masih mempertahankan satu jalur komunikasi untuk gateway, perbedaannya menggunakan node-node lain dalam mengirimkan data, namun masih dalam satu jalur tersebut. Kelemahan untuk topologi ini adalah jika node router turun, maka semua node yang bergantung pada node router akan kehilangan komunikasi ke gateway.
3. Topologi mesh
Topologi ini merupakan solusi dari topologi-topologi sebelumnya, dengan menggunakan jalur komunikasi yang lebih banyak untuk meningkatkan kehandalan system. Dalam sebuah jaringan mesh, node mempertahankan jalur komunikasi untuk kembali ke gateway, sehingga jika salah satu node router turun, secara otomatis router data akan dilewatkan melalui jalur yang berbeda. Kelemahan pada topologi ini adalah adanya latensi/delay, karena data harus melalui beberapa hop sebelum mencapai gateway.

2.2.3 Karakteristik jaringan sensor

Node sensor merupakan kesatuan beberapa perangkat yang terdiri dari CPU, memori, baterai, dan *transceiver*. Karakteristik yang mendasar dari sebuah jaringan sensor nirkabel antara lain:

- ***Jenis layanan (Type of Service)***
Jenis layanan yang diberikan oleh jaringan komunikasi konvensional adalah bit bergerak dari satu tempat ke tempat lain. Untuk WSN, bit bergerak hanya sarana berakhir, tetapi bukan tujuan sebenarnya. Sebaliknya, WSN diharapkan dapat

memberikan makna dari informasi dan tindakan tentang tugas yang diberikan, "Orang-orang ingin jawaban, bukan angka" Steven Glaser, UC Berkeley. Selain itu, konsep seperti scoping interaksi ke wilayah geografis atau interval waktu khusus akan menjadi penting. Oleh karena itu, paradigma baru menggunakan jaringan tersebut diperlukan, bersama dengan antarmuka baru dan cara berpikir yang baru tentang layanan jaringan.

- ***Quality of Service***

Erat kaitannya dengan jenis layanan jaringan adalah kualitas layanan tersebut. Kualitas layanan tradisional biasanya datang dari aplikasi multimedia. Seperti keterlambatan dibatasi atau bandwidth minimum tidak relevan ketika aplikasi toleran terhadap latency atau bandwidth dari data yang dikirimkan sangat kecil. Dalam beberapa kasus, hanya sekali pengiriman paket bisa lebih dari cukup, dalam lain kasus, persyaratan keandalan sangat penting. Dalam kasus lainnya, delay sangat diperhatikan ketika aktuator harus dikontrol secara real-time oleh jaringan sensor.

- **Toleransi Kesalahan**

Karena node mungkin kehabisan energi atau mungkin rusak, atau karena komunikasi nirkabel antara dua node dapat terganggu secara permanen, maka penting bagi WSN secara keseluruhan untuk mampu mentolerir kesalahan tersebut. Untuk mentolerir kegagalan node, penyebaran node dalam jumlah banyak diperlukan.

- ***Skalabilitas***

Skala WSN bervariasi, maka arsitektur dan protokol harus mampu bekerja dari skala kecil sampai skala besar. Aplikasi yang berbeda akan memiliki simpul yang sangat berbeda kepadatannya (jumlah node per luas area). Bahkan dalam sebuah aplikasi tertentu, kepadatan dapat bervariasi dari waktu ke waktu dan tidak harus homogen di seluruh jaringan (karena penyebaran tidak sempurna misalnya) dan jaringan harus beradaptasi dengan variasi tersebut.

- ***Programmability***

Tidak hanya akan diperlukan oleh node untuk memproses informasi, tetapi juga untuk bereaksi fleksibel pada perubahan tugas-tugas mereka. Node ini harus diprogram, dan program mereka harus berubah selama operasi ketika ada tugas baru yang penting.

- ***Maintainability***

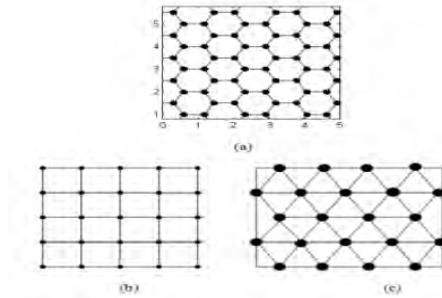
Karena lingkungan WSN dan WSN sendiri selalu berubah (baterai habis, gagal node, tugas-tugas baru) maka sistem harus beradaptasi. Hal ini untuk memantau kesehatan sendiri dan status untuk mengubah parameter operasional atau untuk memilih berbagai trade-off (misalnya untuk menyediakan lebih rendah kualitas ketika sumber daya energi menjadi langka). Dalam hal ini, jaringan harus memelihara sendiri, tetapi juga bisa dapat berinteraksi dengan mekanisme pemeliharaan eksternal untuk memastikan pengoperasian yang lebih lama pada kualitas yang diperlukan. Untuk mewujudkan persyaratan ini, mekanisme inovatif untuk jaringan komunikasi harus ditemukan, serta arsitektur baru, dan konsep protokol baru. Sebuah tantangan khusus di sini adalah perlu mencari mekanisme yang cukup spesifik untuk keunikan dari aplikasi yang diberikan dan mendukung kualitas layanan tertentu, dan life time.

2.2.4 Model Penyebaran Sensor

Penyebaran sensor dapat dilakukan secara random. Pada umumnya digunakan untuk aplikasi di daerah yang sulit terjangkau atau berbahaya, sebagai contoh penyebaran sensor untuk mendeteksi bencana alam seperti kebakaran atau semacamnya atau digunakan untuk mendeteksi binatang buas. Koordinat dari lokasi sensor biasanya akan mempunyai distribusi tertentu tergantung dari penyebarannya, misalkan berdistribusi uniform, normal atau poisson[5].

Penyebaran sensor dengan mengikuti pola tertentu. Pola ini kebanyakan digunakan untuk aplikasi di dalam ruangan dimana koordinat dari sensor ditentukan. Ada beberapa model

penyebaran sensor dengan pola tertentu, ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Model penyebaran sensor (a) Hexagonal (b) Square (c) Triangel.

Area per Node (APN) dari model yang teratur ini dihitung dengan rumus.

$$APN = \frac{A_p}{N_p} N_n \quad (2.3)$$

Dengan

A_p = luas daerah

N_p = jumlah sensor yang menyusun pola

N_n = jumlah node yang berbagi bidang

Model square mempunyai $N_p = 4$ dan luas a^2 , jika panjang sisi a . Hexagonal mempunyai $N_p = 6$, $N_n = 3$ dan luas $A = (3\sqrt{3}/2)t^2$ dengan t adalah panjang sisi dari Hexagonal. Triangular mempunyai $N_p = 3$, $N_n = 6$ dan luas $A = (1/2)lt$ dengan l adalah panjang alas dan t adalah tinggi.

2.2.5 Implementasi Jaringan Sensor Network

Selain *node* yang berfungsi secara spesifik disesuaikan dengan aplikasi/tugasnya, suatu jaringan secara keseluruhan haruslah mampu beradaptasi dengan system secara dinamis. Perkembangan difokuskan pada tiap-tiap *node* yang kemudian menyeluruh meliputi seluruh *node*. Pada suatu jaringan sensor secara komulatif. Konsekuensinya, untuk memenuhi

kebutuhan yang ada, jaringan sensor haruslah mempunyai kriteria sebagai berikut :

- Jaringan sensor haruslah mampu berdiri sendiri
- Pemrosesan yang dilakukan secara bersama haruslah menghasilkan data yang akurat.
- Jaringan sensor membutuhkan mekanisme keamanan yang menyesuaikan dengan kondisi jaringan
- Semua algoritma dan protocol komunikasi haruslah optimal dari sisi energinya

Telah banyak pihak yang mengembangkan *wireless sensor network*. Beberapa perusahaan yang telah memanfaatkan jaringan sensor nirkabel secara komersial antara lain Crossbow, Scatter Web, dan masih banyak yang lainnya. Sedangkan institusi pendidikan yang telah mengembangkan jaringan sensor nirkabel lebih dulu adalah University of California Berkleys.

2.2.6 Model Deteksi Sensor

Setiap sensor memiliki karakteristik yang berbeda beda dalam melakukan pendeteksian dengan metode tertentu sesuai karakteristik masing-masing sensor. Model deteksi sensor ada tiga metode yang dipakai yaitu model deteksi biner, model deteksi Neyman Pearson, dan model deteksi Elfes. Berikut penjelasan dari ketiga model deteksi secara detail:

a. Model Deteksi Biner

Model deteksi biner merupakan model deteksi sensor yang paling sederhana dan paling banyak digunakan pada penelitian pada *wireless sensor network* . Setiap sensor memiliki jangkauan sensing masing-masing. Jangkauan sensing tersebut sering disebut range sensor (r_s). Range sensor inilah yang menentukan apakah sensor dapat mensensing sesuatu atau tidak. Untuk mengetahui jarak antar target dan sensor dapat menggunakan rumus jarak Eucliden.

$$d_i = \sqrt{(X_i - X_t)^2 + (Y_i - Y_t)^2} \quad (2.4)$$

Dimana:

d_i = jarak target dengan sensor ke i (m)

x_i, y_i = koordinat dari sensor (m)

x_t, y_t = koordinat dari target

$$f(i) = \begin{cases} 1, & d_i \leq r_s \\ 0, & d_i > r_s \end{cases} \quad (2.5)$$

Apabila target berada dalam range sensor, maka diasumsikan target terdeteksi oleh sensor sedangkan apabila diluar jangkauan maka target dianggap tidak bisa disensing oleh sensor.

b. Model Deteksi Neyman Pearson

Model deteksi ini merupakan model deteksi yang digunakan untuk mendapatkan suatu nilai deteksi yang optimal dengan cara mengatur probabilitas false alarm. Model ini mempunyai nilai keputusan yaitu terdeteksinya target dan tidak terdeteksinya target. Detektor Neyman Pearson akan menghitung likelihood ratio berdasarkan probabilitas false alarm yang diinginkan. Model ini biasanya digunakan pada aplikasi jaringan sensor nirkabel yang berada pada luar ruangan. Dalam model ini sinyal yang diterima oleh sensor dipengaruhi oleh rugi-rugi AWGN dengan mean nol dan varian σ^2 dan rugi-rugi lintasan η dan jarak antara sensor dengan target d_i . Probabilitas deteksi target oleh sensor ke i adalah:

$$P_d = 1 - \Phi \left(\tau_{sensor} - \sqrt{\gamma L d_i^{-\eta}} \right) \quad (2.6)$$

dimana:

P_d = probabilitas false alarm sensor

Φ = fungsi distribusi kumulatif dengan $\mu=0$ dan varian σ^2

γ = SNR

L = banyaknya pengukuran oleh sensor

η = threshold sensor

c. Model Deteksi Elfes

Model deteksi ini membagi daerah keputusan deteksi sensor menjadi tiga daerah pembagian, daerah pertama merupakan daerah dengan probabilitas deteksi sensor satu, daerah kedua merupakan daerah dengan nilai probabilitas deteksi sensor antara nol sampai satu dan daerah ketiga adalah daerah dengan nilai probabilitas deteksi sensor nol. Persamaan probabilitas sensor ke i dapat dituliskan sebagai berikut:

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{jika } r_s - r_e \geq d_i \\ e^{-a_e \alpha_e^{\beta_e}}, & \text{jika } r_e > |r_s - d_i| \\ 0, & \text{jika } d_i \geq r_s + r_e \end{cases} \quad (2.7)$$

dimana

r_s = range sensor

r_e = ketidak pastian nilai range sensor ($r_e < r_s$)

α_e dan β_e = karakteristik sensor

a_e = $d_i - r_s + r_e$

d_i = jarak target dengan sensor ke i

besarnya r_s, r_e, α_e , dan β_e ditentukan berdasarkan karakteristik fisik dari sensor yang digunakan. Nilai r_s dan r_e mempengaruhi jarak threshold untuk mendeteksi target.

2.3 Pemodelan Perilaku Penyebaran Api

Pemodelan perilaku penyebaran api mempunyai manfaat yang sangat besar dalam kehidupan manusia, maka banyak ilmuwan yang berusaha untuk membuat model penyebaran api. Salah satu rintangannya adalah bagaimana cara untuk menemukan hubungan temperature terhadap jarak dari sumber api. Dalam berbagai kasus, pemodelan penyebaran api kebanyakan hanya dirancang untuk mensimulasikan penyebaran api, intensitas linier, dan panjang lidah api tetapi tidak menampilkan hasil dari nilai suhu api tersebut. Padahal parameter suhu inilah yang paling penting karena nilai dari suhu inilah yang penting karena sensor tidak bisa membaca membaca intensitas linier dan panjang lidah api tetapi hanya membaca kenaikan suhu akibat munculnya sumber api.

Karena semakin berkembangnya teknologi maka diciptakan suatu sensor yang dapat mengukur suhu sampai 120°C dengan biaya yang sangat murah. Sensor tersebut cocok diaplikasikan ke dalam jaringan sensor nirkabel untuk mendeteksi dan monitoring kebakaran terutama di kota-kota besar yang padat penduduk dan rawan terjadinya kebakaran.

Untuk api yang dihasilkan oleh kebakaran dengan panjang api kurang dari 3 m. Rumus hubungan antara suhu, jarak dari api, dan panjang api dapat dirumuskan sebagai berikut[4]:

$$I = 300L^2 \quad (2.8)$$

$$Q = 60 \left[1 - \exp \left(\frac{-I}{300D} \right) \right] \quad (2.9)$$

dimana:

I = intensitas api (kW/m)

L = panjang api (m)

Q = intensitas radiasi (kW/m²)

D = jarak dari sumber api (m)

- **Algoritma Dijkstra**
Algoritma ini adalah sebuah *greedy algorithm* dalam memecahkan permasalahan jarak terpendek untuk sebuah simple graph tak berarah dengan bobot-bobot sisi yang bernilai tak negative.
- **Algoritma Pegasus**
Algoritma yang berdasarkan sambungan rantai yang paling dekat. Topologi yang terdapat pada algoritma ini adalah topologi *simple chain network* dengan membentuk rantai dari sensor node agar masing-masing node dapat mengirimkan atau menerima dari tetangganya dan hanya satu node dari rantai tersebut yang mengirim ke Base station atau sink node.
- **Algoritma Konsensus**
Algoritma ini merupakan suatu metode dimana sejumlah sensor saling bekerja sama untuk melakukan pendeteksian kejadian. Tujuan dari algoritma ini adalah untuk mencari kesepakatan bersama oleh seluruh node sensor yang aktif.
- **Algoritma Kalman Filter**
Algoritma ini yang akan digunakan dalam tugas akhir ini. Penjelasan lebih lanjut akan dijelaskan pada bab 2.5

2.5 Algoritma Kalman Filter Terdistribusi

Pengertian umum dari Kalman Filter adalah solusi rekursif yang menggunakan teknik asimilasi data. Asimilasi data adalah salah satu teknik estimasi yang banyak digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah sistem dinamik[1].

Kalman Filter merupakan suatu algoritma yang menggabungkan model dan pengukuran. Data pengukuran terbaru menjadi bagian penting dari algoritma Kalman Filter karena data terakhir akan mengoreksi hasil prediksi pengukuran, sehingga hasil estimasi selalu mendekati kondisi yang sebenarnya.

Kalman Filter mengestimasi proses dengan menggunakan control umpan balik dalam bentuk pengukuran noise. Dengan demikian, persamaan untuk kalman filter dibagi menjadi dua kelompok: persamaan update waktu dan persamaan update pengukuran. Persamaan update waktu bertanggung jawab untuk memproyeksikan kedepan (waktu)

keadaan saat ini dan estimasi kovarian error mengestimasi untuk mendapatkan sebuah estimasi *a priori* untuk langkah waktu berikutnya. Persamaan update pengukuran bertanggung jawab atas umpan balik untuk menggabungkan pengukuran baru ke dalam estimasi *a priori* untuk mendapatkan estimasi *a posteriori* yang lebih baik.

Persamaan umum dari kalman Filter[2] :

$$(2.11) \quad x(k+1) = A_k x(k) + B W(k)$$

$$(2.12) \quad z(k) = H(k) x(k) + v_i(k)$$

Dimana :

$x(k)$ = adalah pembacaan dalam waktu k

A_k = adalah matriks A

B_k = adalaah matriks B

$W(k)$ = adalah white gaussian noise

$z(k)$ = adalah output dari pembacaan kalman

Kalman Filter terdiri dari dua tahap yaitu :

1. Tahap prediksi

Tahap prediksi dipengaruhi oleh dinamika sistem dengan memprediksi variabel keadaan dengan menggunakan persamaan estimasi variabel keadaan dan tingkat akurasiya dihitung menggunakan kovarian eror. Di tahap ini terdapat persamaan:

estimasi :

$$X_{(k+1)} = A_x + B_x \quad (2.13)$$

Kovarian error:

$$P_{(k+1)} = A P A^T + Q \quad (2.14) [6]$$

2. Tahap koreksi

Pada tahap koreksi hasil estimasi variable keadaan yang diperoleh pada tahap prediksi dikoreksi menggunakan model pengukuran. Salah satu bagian dari tahap ini yaitu matriks Kalman Gain yang digunakan untuk meminimumkan kovarian error. Di tahap ini persamaan yang digunakan :

Kalman Gain :

$$K_k = P_{k+1}^- H^T (H P_{k+1}^- H^T + R)^{-1} \quad (2.15)$$

Estimasi:

$$X_{k+1} = X_{k+1}^- + K_{k+1} (Z_{k+1} - H x_{k+1}^-) \quad (2.16)$$

Kovarian error:

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1} H) P_{k+1}^- \quad (2.17)$$

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

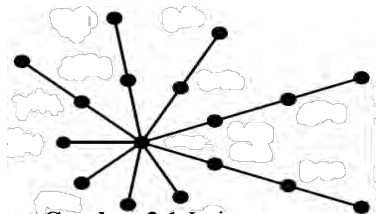
Pada bab ini akan dibahas mengenai perencanaan topologi yang digunakan, metodologi penelitian, simulasi penyebaran sensor, simulasi pembangkitan sumber, model deteksi sensor, dan simulasi pembacaan sensor menggunakan algoritma kalman filter terdistribusi pada jaringan sensor nirkabel.

3.1 Perencanaan

Dalam simulasi perancangan system diperlukan beberapa persiapan berupa pemilihan model sensor yang digunakan. Model system ini terdiri dari model sensor yang digunakan, model sumber, dan model penyebaran dari sensor. Model sensor yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan spesifikasi sensor MDA300 dan MTS420 yang diintegrasikan dengan radio komunikasi Micaz Model. Model penyebaran sensor yang digunakan adalah model penyebaran dengan distribusi *uniform*, sedangkan model sumber yang digunakan adalah pemodelan perambatan suhu dengan sumber api. Model system tersebut digunakan sebagai acuan dalam pembuatan program simulasi system.

3.2 Topologi Jaringan

Dalam perancangan simulasi ini topologi yang digunakan adalah topologi *star*. Dimana jaringan star berkomunikasi langsung ke *central*, akan tetapi dikarenakan terdapat satu *central* maka akan terjadi *bottleneck effect*. *Bottleneck effect* adalah suatu peristiwa dimana aliran data yang diterima oleh central terganggu karena banyaknya data yang ingin menuju ke *central*.

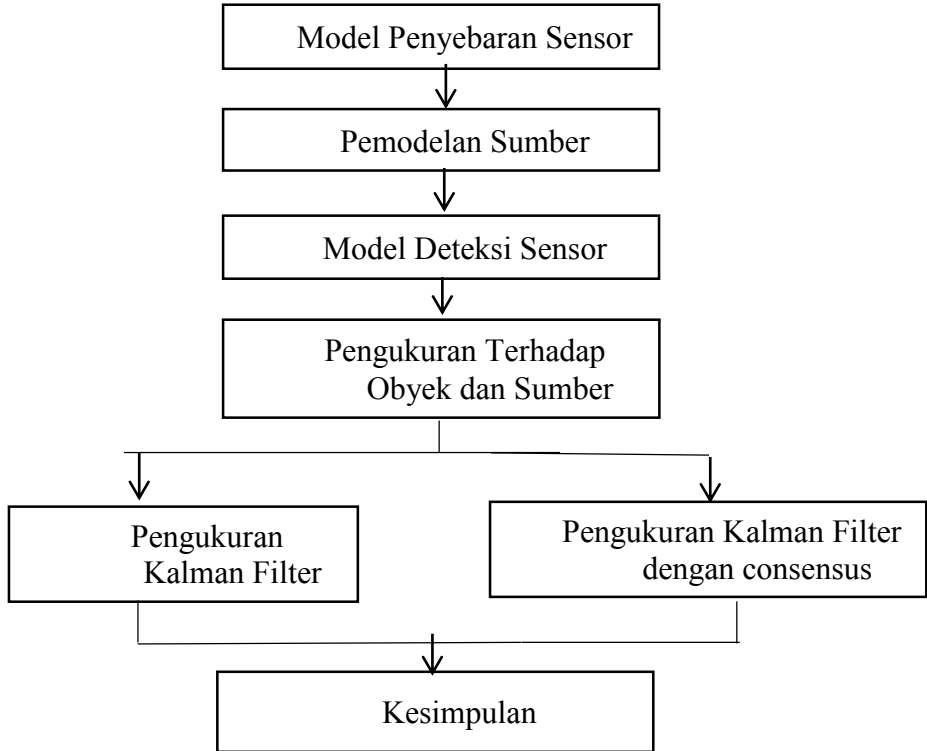


Gambar 3.1 Jaringan *star*

3.3 Metodologi Penelitian

Pada tugas akhir ini, metodologi penelitian dimulai dengan perencanaan system yang akan kita gunakan yaitu penentuan model

sumber, model deteksi sensor, dan model penyebaran sensor. Setelah itu kita akan mengaplikasikan pemodelan system yang kita pilih tersebut ke dalam simulasi. Tahap simulasi ini meliputi tiga tahap, yaitu tahap pengukuran terhadap obyek atau sumber, tahap pengukuran kalman filter tanpa consensus, dan tahap pengukuran kalman filter menggunakan consensus



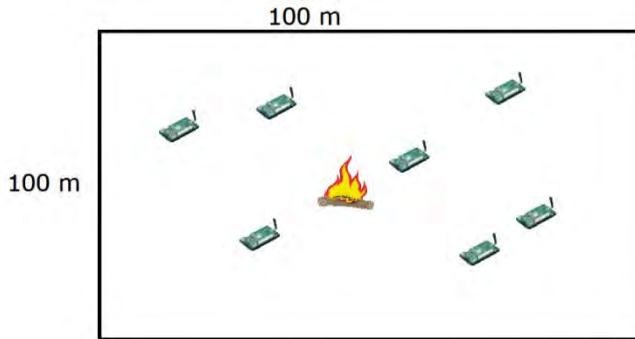
Gambar 3.2 Diagram alir metodologi percobaan

3.3.1 Penyebaran Node Sensor

Pada tahap ini penyebaran node sensor menggunakan distribusi *uniform*. Node sensor yang akan disebar digunakan untuk mengambil

informasi yang didapat dari sumber. Dari simulasi ini akan didapatkan koordinat dari masing-masing node sensor. Nilai koordinat akan digunakan untuk mencari jarak antara node sensor dengan sumber sinyal dan node sensor satu dengan yang lain.

Obyek simulasi ini akan digunakan sebuah daerah dengan luas 100m x 100m dengan penyebaran distribusi *uniform*. Contoh penyebaran dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 penyebaran node sensor

3.3.2 Pengukuran Obyek atau Sumber

Pada tahap ini pengukuran sumber, disimulasikan pembacaan hasil sensing dari masing-masing node terhadap sumber yang akan disensing yaitu api. Parameter yang akan dianalisa adalah suhu yang ditimbulkan oleh api sehingga data yang akan dibaca sensor adalah data perambatan suhu yang berada pada kedudukan node. Kemampuan sensor mendeteksi sumber dipengaruhi oleh besarnya range sensor yang dimiliki oleh node sensor. Range sensor inilah yang menentukan apakah node sensor dapat mendeteksi sumber atau tidak. Selain besarnya range sensor parameter lain yang mempengaruhi kemampuan pembacaan sensor untuk mendeteksi sumber adalah tinggi api, besarnya tinggi api mempengaruhi nilai intensitas radiasi api. Semakin kecil intensitas radiasi api yang dihasilkan oleh sumber api, maka semakin pendek pula range daerah yang merasakan efek suhu yang ditimbulkan oleh api. Sebaliknya, semakin besar nilai

intensitas radiasi api maka semakin jauh pula range daerah yang dapat merasakan efek suhu yang ditimbulkan oleh sumber.

3.4 Sensor

Padad simulasi yang dilakukan, parameter yang digunakan adalah parameter dari sensor keluaran *Crossbow* jenis MDA300 dan MTS420. *Sensor board* tersebut tidak bisa mengirim hasil sensing karena tidak memiliki perangkat *transmitter* dan *receiver*. Maka perangkat tersebut diintegrasikan dengan *Micaz* sebagai komponen komunikasi. Parameter sensor secara lengkap dapat dilihat pada lampiran. Pada simulasi ini diasumsikan sensor yang digunakan identic sehingga mempunyai spesifikasi yang sama untuk semua sensor.

3.4.1 Model Penyebaran Sensor

Pada tugas akhir ini digunakan pemodelan penyebaran sensor menggunakan distribusi *uniform*. Pemodelan penyebaran sensor ini dapat didapatkan dengan:

$$100*\text{rand}(\text{jumlahnode},1)$$

Dimana 100 merupakan cakupan area simulasi dalam satuan meter, sedangkan *rand* adalah perintah yang digunakan untuk mendapatkan bilangan acak dari 0 sampai 1. Jumlah node merupakan jumlah dari node yang akan disebar secara acak dalam simulasi ini. Dari perintah dalam MATLAB tersebut akan dihasilkan koordinat dari penyebaran sensor yang tersebar.

Dalam simulasi pennyebaran node sensor ini, parameter yang digunakan adalah jumlah sensor dan luas dari area penyebaran sensor. Pada simulasi ini jumlah sensor yang akan disebar berjumlah 23 buah dan luas area penyebaran sensor yang digunakan adalah 100 x 100 m.

3.4.2 Model Deteksi Sensor

Pada simulasi ini model deteksi sensor yang digunakan adalah model deteksi biner. Parameter yang digunakan adalah parameter sensor produksi *Crossbow* dengan menggunakan node *Micaz*. . Parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Simulasi Node Sensor

Parameter	Simbol	Nilai
<i>Range</i> sensor	r_s	10m, 15m, 20m, 25m
<i>Range</i> komunikasi	r_c	20-100m
Jumlah sensor	N	23

Untuk mengetahui jarak antara target dengan sensor, kita dapat menggunakan rumus jarak *Euclidean*. Dengan rumus jarak *Euclidean* kita dapat mengetahui jarak setiap sensor terhadap sumber yang akan disensing. Jarak tersebut yang akan digunakan untuk mendapatkan data apakah sensor dapat mendeteksi sumber atau tidak Pada tugas akhir ini dipilih parameter *range* sensor sebesar 25 m sehingga apabila suatu sensor berada pada jarak kurang dari sama dengan 25 m maka sensor tersebut dapat mendeteksi, sebaliknya apabila sensor berada diluar jangkauan *range* sensor maka sensor tidak dapat mendeteksi sumber.

Dalam simulasi pendeteksian sensor terhadap sumber diperlukan hasil dari penyebaran sensor node berupa koordinat dari letak sensor node. Dari tahapan ini didapat sensor yang dapat menyensing sumber dan dinamakan sensor aktif.

3.5 Pemodelan Sumber Api

Pemodelan nilai yang digunakan dalam pembacaan sensor pada simulasi ini adalah pemodelan sumber api. Persamaan yang digunakan dalam pemodelan ini adalah persamaan intensitas api, intensitas radiasi, dan suhu. Parameter yang nantinya digunakan dalam simulasi pemodelan ini dapat dilihat dalam tabel 3.2

Tabel 3.2 Parameter Simulasi Sumber Sinyal

Parameter	Nilai
-----------	-------

Panjang api	0.8 m
Luas daerah	100 x 100 m
Jumlah sensor	23
Range sensor	25 m

Data yang diambil oleh sensor merupakan data pembacaan suhu yang ada di lingkungan penyebaran api. Data tersebut masih berupa satuan suhu $^{\circ}\text{C}$. data harus dikonversikan terlebih dahulu menjadi nilai daya dengan menggunakan persamaan:

$$P = \varepsilon \sigma T^4 \quad (3.1)$$

dimana

P = daya (W)

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

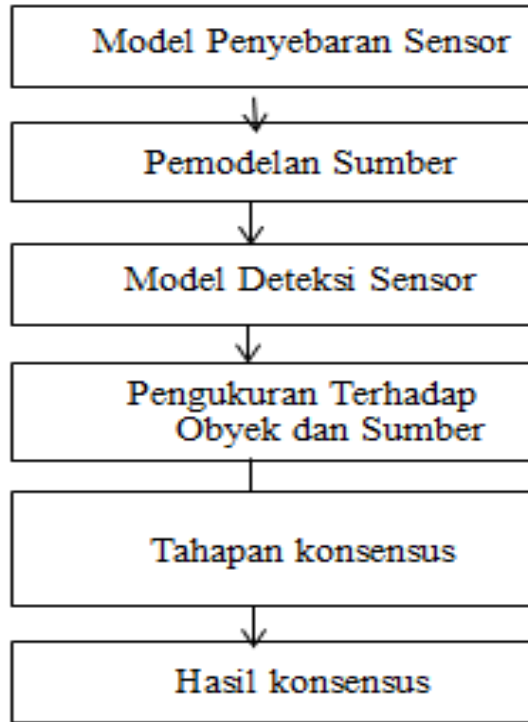
ε = 1

dalam tugas akhir ini nilai emisivitas (ε) diasumsikan bernilai 1 atau dengan kata lain menggunakan permukaan yang amat hitam.

3.6 Tahapan Optimasi Data dengan Konsensus

Dari hasil simulasi pedeteksian sensor didapatkan data sensor yang aktif dan yang tidak aktif. Sensor aktif tersebut yang bekerja untuk mendeteksi sumber sehingga semua sensor yang aktif mempunyai data yang dapat membaca perambatan suhu yang terdapat pada koordinat masing-masing. Suhu yang didapat oleh masing-masing sensor akan dioptimasi menggunakan consensus.

Setelah melewati tahapan penyebaran node sensor dan pengukuran sumber, setiap node akan mempunyai data berupa besarnya suhu pada kedudukannya masing-masing. Besarnya suhu yang diterima oleh setiap node sensor tidak menggambarkan nilai suhu yang terjadi pada daerah obyek simulasi. Untuk mengatasi hal tersebut, kita melakukan optimasi data yang ada pada masing-masing node sensor dengan menggunakan algoritma konsensus.



Gambar 3.4 Blok diagram perhitungan konsensus

a). Mencari konektivitas antar tiap-tiap sensor yang aktif

Proses ini sangat diperlukan karena konektivitas sensor digunakan dalam proses iterasi menggunakan algoritma konsensus. Pada tugas akhir ini diambil *range* komunikasi node adalah 50m. Apabila jarak antar node berada diluar *range* komunikasi, maka node tidak dapat terkoneksi sehingga tidak dapat melakukan pertukaran data. Sedangkan apabila jarak antar node berada didalam *range* komunikasi node maka dapat terkoneksi dan dapat melakukan pertukaran data. Dari proses ini didapatkan matrix *adjacency* (A) dengan nilai 0 dan 1 dimana bernilai nol jika sensor tidak terkoneksi

dengan sensor yang lain dan sebaliknya bernilai 1 apabila terkoneksi dengan sensor yang lain.

b). Mencari derajat atau matrix degree dari semua sensor yang aktif

Dari data yang dihasilkan oleh matrix *adjacency*, kita dapat menentukan nilai *degree* (D) dari setiap node yang aktif. Nilai *degree* didapat dari jumlah pada baris matrix *adjacency*.

c). Mencari nilai matrix Laplacian

Besarnya nilai matrix *Laplacian* dapat dicari ketika matrix *adjacency* dan matrix *degree* sudah diketahui. Nilai matrix *Laplacian* adalah matrix *degree* (D) dikurangi dengan matrix *adjacency* (A).

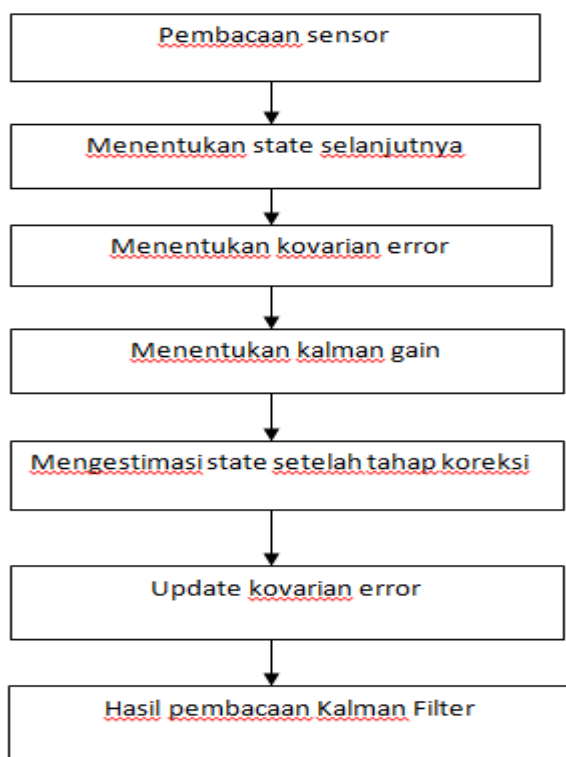
3.7 Tahapan Pembacaan Sensor Menggunakan Kalman Filter

Dari hasil simulasi pendeteksian sensor didapatkan data sensor yang aktif. Sensor aktif tersebut dapat membaca hasil dari sumber sehingga semua sensor aktif mempunyai data pembacaan perambatan suhu yang terdapat pada koordinat masing-masing. Nilai suhu yang didapat oleh masing-masing sensor akan diprediksi dengan menggunakan algoritma Kalman Filter. Pengukuran Kalman Filter terdiri dari dua tahap yaitu tahap prediksi dan tahap koreksi. Dimana tahap prediksi adalah tahap yang melakukan prediksi untuk waktu selanjutnya. Setelah melalui tahap prediksi hasil pembacaan akan dilakukan koreksi sebelum menentukan nilai yang akan ditentukan untuk mendapatkan nilai estimasi selanjutnya.

3.8 Tahapan pengestimasi Kalman Filter Menggunakan Konsensus

Setelah melewati tahapan penyebaran node sensor dan pengukuran sumber, setiap node akan mempunyai data berupa besarnya suhu pada kedudukannya masing-masing. Besarnya suhu yang diterima oleh setiap node sensor tidak menggambarkan nilai suhu yang terjadi pada daerah obyek simulasi. Untuk mengatasi hal tersebut, kita melakukan optimasi data yang ada pada masing-masing node sensor. Pada tahapan optimasi ini, setiap sensor akan mencari node mana saja yang terhubung dengan dirinya. Setelah itu, data yang dimiliki oleh masing-masing sensor akan ditransmisikan kepada semua node yang terhubung dengan dirinya. Proses pengoptimasian data tersebut dipengaruhi oleh nilai matrik

laplacian dan nilai faktor *disagreement*. Data tersebut akan diiterasi secara berulang-ulang sampai menjadi konvergen. Setelah menemukan hasil dari pembacaan consensus akan dilakukan pengestimasi data menggunakan algoritma Kalman Filter. Sehingga Kalman Filter tidak perlu membaca suhu dari masing-masing node yang aktif melainkan Kalman Filter cukup mengestimasi hasil pembacaan sensor yang sudah konvergen.



Gambar 3.5 Blok diagram perhitungan Kalman Filter

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB IV

ANALISA HASIL SIMULASI dan PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini dilakukan analisa terhadap data-data yang diperoleh dalam simulasi untuk metode algoritma Kalman filter terdistribusi dengan membandingkan hasil dari pembacaan sensor antara algoritma Kalman filter tanpa consensus dengan algoritma Kalman filter menggunakan consensus yang disimulasikan menggunakan software MATLAB. Pembahasan dari hasil simulasi dibagi menjadi lima bagian utama yaitu:

a) Analisa dari pemodelan sumber

Pada sub bab ini berisi tentang hasil simulasi pemodelan sumber. Sumber yang dimodelkan dalam simulasi tugas akhir ini adalah pemodelan perambatan suhu api dengan panjang api 2 m. Data yang diperoleh dari penyensingan node sensor berupa suhu dengan satuan Celcius.

b) Analisa kinerja dari sensor

Pada Sub bab ini berisi tentang hasil simulasi kinerja dari node sensor. Kinerja dari suatu node sensor, model penyebaran node sensor, model deteksi node sensor, jumlah node sensor, range node sensor dan range komunikasi node sensor.

c) Analisa kinerja algoritma consensus terdistribusi terhadap data yang diperoleh dari sensor

Sub bab ini berisi tentang bagaimana node sensor melakukan proses pembaharuan data dengan menggunakan algoritma konsensus terdistribusi sampai data dari semua node sensor menjadi konvergen. Parameter yang digunakan dalam bab ini adalah seberapa banyak iterasi yang dilakukan masing-masing node sensor untuk mencapai data yang konvergen dan seberapa besar error data yang telah konvergen tersebut terhadap rata-rata hasil pembacaan awal dari semua node sensor.

d) Analisa kinerja algoritma kalman filter terdistribusi tanpa algoritma consensus terhadap data yang diperoleh dari sensor

- e) Analisa kinerja algoritma kalman filter terdistribusi dengan menggunakan algoritma consensus terdistribusi terhadap data yang diperoleh dari sensor.

4.2 Analisa dari Pemodelan Sumber

Pada sub bab ini akan ditampilkan data hasil simulasi pemodelan sumber perambatan suhu api dengan menggunakan software MATLAB. Pada tugas akhir ini hanya difokuskan dalam pemodelan perambatan suhu api. Parameter-parameter yang digunakan dalam mensimulasikan pemodelan ini adalah panjang api dan jarak node sensor terhadap api. Besarnya panjang api yang dipakai dalam simulasi ini adalah 2 m.

Tabel 4.1 Pengaruh Jarak Terhadap Suhu dan Intensitas Radiasi api

Jarak (m)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Intensitas Radiasi (kW/m)
34.7278	65.2774	6.5277
43.2739	52.9746	5.2975
64.0940	36.3005	3.6300

Berdasarkan pada tabel 4.1 terlihat bahwa penurunan suhu disebabkan penurunan intensitas radiasi. Terlihat bahwa perbandingan jarak yang terdekat dan terjauh mengakibatkan adanya selisih penurunan suhu.

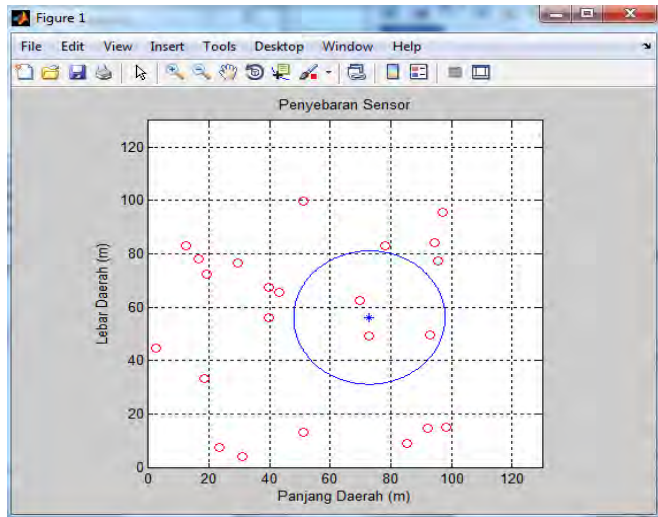
4.3 Analisa Kinerja Node Sensor

Pada sub bab ini akan dijelaskan hasil simulasi kinerja dari sensor. Kinerja dari node sensor sangat dipengaruhi sekali oleh model penyebaran node sensor, model deteksi sensor, jumlah node sensor, range sensor, range komunikasi node sensor, dan luas area penyebaran node sensor. Pengaruh dari factor tersebut akan dibahas lebih lanjut dalam sub bab dibawah ini.

4.3.1 Model Penyebaran Node Sensor

Pada bagian ini dibahas hasil pemodelan penyebaran node sensor dengan menggunakan distribusi uniform. Simulasi ini menggunakan node sensor sebanyak 23 buah dengan luas area yang

digunakan adalah $100 \times 100 \text{ m}^2$. Hasil simulasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada gambar 4.1.



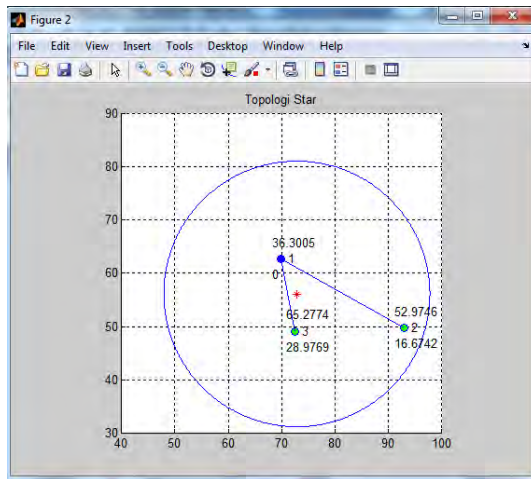
Gambar 4.1 Penyebaran sensor dan ruang lingkup sumber sinyal

Gambar 4.1 menunjukkan penyebaran node sensor dengan luas area $100 \times 100 \text{ m}$ dengan jumlah node yang disebar sebanyak 23 buah sensor. Penyebaran node sensor dilakukan dengan menggunakan distribusi *uniform*. Berdasarkan pada gambar diatas kita dapat melihat sensor yang aktif, sensor pasif, sumber sinyal, dan ruang lingkup dari sumber sinyal. Besar dari range sensor yang digunakan dalam simulasi ini adalah 25 m. Apabila node sensor berada lebih dari 25 m dari sumber maka node tersebut tidak aktif. Jika node sensor berada di 25 m atau dibawahnya maka node tersebut aktif.

Berdasarkan gambar 4.1 dari 23 node yang tersebar terdapat 3 sensor yang aktif dan 20 sensor yang tidak aktif. Dari sensor yang aktif tersebut akan diperoleh data yang akan diestimasi.

4.3.2 Konektivitas Node Sensor Aktif

Pada sub bab ini dibahas tentang hubungan antara sensor aktif. Hubungan antara node sensor aktif ini sangat penting sekali karena digunakan untuk mencari node sensor yang lainnya. Data konektivitas ini digunakan untuk mencari nilai laplacian matrik L . Parameter yang digunakan pada simulasi ini adalah range komunikasi node sensor . range komunikasi node sensor yang digunakan adalah 50 m, karena range komunikasi node sensor yang digunakan adalah 50 m megakibatkan semua node sensor aktif dapat berkomunikasi dengan sensor aktif lainnya. Dari hasil simulasi didapatkan data konektivitas antar node sensor aktif. Data konektivitas node sensor aktif dapat dilihat pada tabel 4.2. Konektivitas dari node sensor aktif tersebut berupa matrik adjacency dan degree dari sensor aktif berupa matrik diagonal. Matrik adjacency dan matrik degree tersebut digunakan untuk mencari matrik laplacian.



Gambar 4.2 Konektivitas antara node satu dengan yang lain dengan topologi star

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Gambar 4.3 Matriks adjacency Node Sensor Aktif Topologi Star

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Gambar 4.4 Matriks Degree dari Node Sensor Aktif Topologi Star

$$\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Gambar 4.5 Matriks Laplacian dari Node Sensor Aktif TopologiStar

4.3.3 Model Deteksi Sensor Aktif Terhadap Sumber

Pada tugas akhir ini digunakan model deteksi biner. Seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.3.1, terdapat dua kondisi sensor yaitu sensor aktif dan sensor tidak aktif, tetapi hanya node aktif saja yang mampu melakukan deteksi keberadaan sumber. Pada tugas akhir ini, node sensor melakukan penyensingan sumber sebanyak seratus kali, data tersebut akan dirata-rata dan dijadikan data awal yang akan dioptimasi ($x(0)$).

Tabel 4.2. Kedudukan Node Aktif dan Pembacaan Suhu

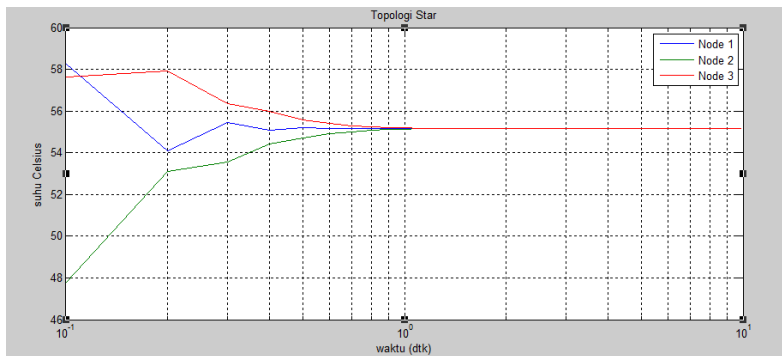
Node ke	Koordinat sumbu X (m)	Koordinat sumbu Y (m)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	69.8755	62.7175	36.3005
2	92.988	49.7811	52.9746
3	72.6249	49.1070	65.2774

4.4 Simulasi Algoritma Konsensus Terdistribusi

Pada simulasi algoritma consensus terdistribusi dengan topologi star digunakan node sensor sebanyak 23 buah node sensor. Node sensor ini kemudian disebar secara random dengan distribusi uniform. Range sensor yang dipakai pada simulasi ini adalah sejauh

25 m dan range komunikasi node sejauh 25 m. Nilai faktor disagreement yang digunakan adalah mengikuti persamaan $0 < \mu < \frac{1}{d_{max}}$. Panjang sumber api yang digunakan sebesar 0.8 m.

Dari hasil Simulasi algoritma consensus terdistribusi dengan menggunakan topologi Star dapat dilihat data penyensingan awal dari node sensor akan berubah pada setiap iterasinya dan menuju pada suatu nilai tertentu. Apabila terdapat suhu yang sangat besar maka nilai suhu tersebut akan diturunkan sampai membentuk data yang konvergen dengan data dari node sensor aktif lainnya. Sebaliknya apabila terdapat nilai suhu hasil pembacaan node sensor yang nilainya sangat kecil maka suhu tersebut akan naik setiap dilakukan iterasi sampai data tersebut menjadi konvergen dengan data node sensor aktif lainnya. Hasil dari simulasi algoritma consensus terdistribusi dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil dari simulasi algoritma consensus terdistribusi

Dari gambar 4.6 terjadi proses pembaharuan data awal ($x(0)$) oleh node sensor tetangga. Pada detik ke-1 grafik menuju ke nilai 55.1582°C. Pada grafik terlihat data yang konvergen. Hasil data tersebut merupakan suhu dari wilayah disekitar sumber dengan radius 25 m.

4.5 Analisa hasil dari simulasi menggunakan algoritma Kalman Filter terdistribusi.

Dari hasil pembacaan sensor akan didapatkan nilai yang digunakan untuk menentukan parameter-parameter yang akan diestimasi dengan menggunakan algoritma Kalman Filter terdistribusi. Tujuan digunakan algoritma Kalman Filter terdistribusi adalah untuk melakukan estimasi dalam pembacaan pada sensor. dalam proses penentuan estimasi digunakan parameter-parameter yang merupakan karakteristik dari algoritma Kalman Filter Terdistribusi.

Pada tugas akhir ini langkah awal dalam penerapan algoritma Kalman Filter terdistribusi adalah menentukan matriks transisi dengan menggunakan rumus

$$F = [- (A') \quad (Cm') * Sv^{-1} * Cm; Bw * (Bw') \quad A] \quad (4.1)$$

Dan dari rumus diatas didapatkan hasil :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.25 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 10000 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Gambar 4.7 Matriks Transisi

Penentuan hasil dari matriks transisi didasari pada nilai-nilai:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Gambar 4.8 Matriks nilai A

$$Bw = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Gambar 4.9 Matriks nilai Bw

$$Cm = [1 \quad 0]$$

Gambar 4.10 Matriks nilai Cm

$$S_w = 4$$

Setelah mendapatkan nilai dari matriks transisi akan dilanjutkan dengan penentuan nilai awal actual yaitu

$$S1(1) = 36.3005$$

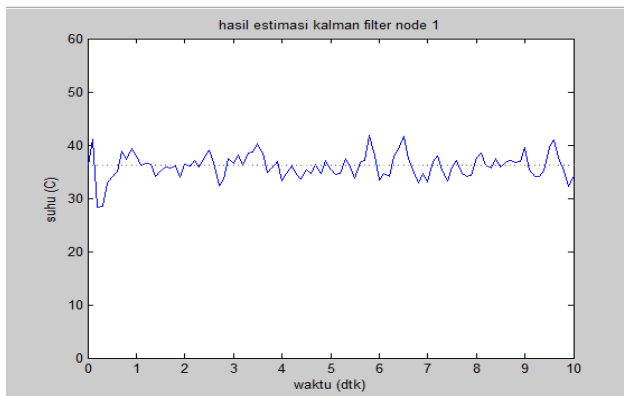
$$S2(1) = 52.9746$$

Setelah mendapatkan nilai dari matriks transisi dan penentuan nilai awal actual, langkah selanjutnya adalah menentukan Kalman Gain. Dari simulasi ini didapatkan nilai Kalman Gain sebesar

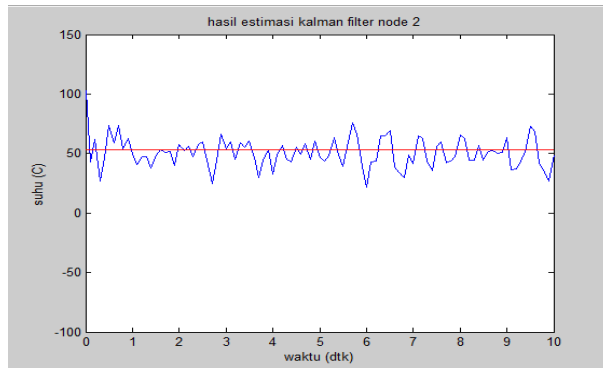
$$G = \begin{bmatrix} 10 \\ 50 \end{bmatrix}$$

Gambar 4.11 Matriks Kalman Gain

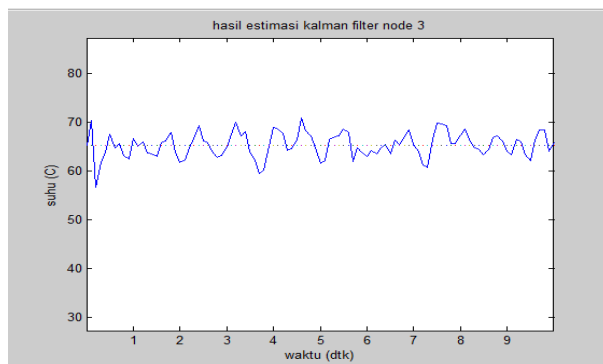
Setelah mendapatkan parameter-parameter, Langkah selanjutnya kita bisa mendapatkan hasil estimasi dari algoritma Kalman Filter. Hasil estimasi dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Hasil estimasi menggunakan Kalman Filter node 1



Gambar 4.13 Hasil estimasi menggunakan Kalman Filter node 2



Gambar 4.14 Hasil estimasi menggunakan Kalman Filter node 3

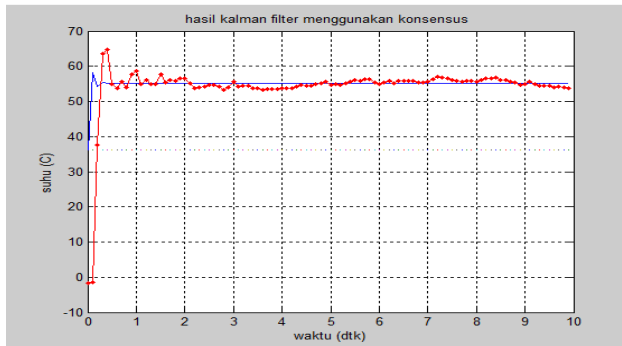
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa setiap node memiliki hasil estimasi masing-masing berdasarkan pembacaan tiap sensor. Kita juga bisa melihat bahwa pembacaan hasil estimasi kalman filter berubah-ubah setiap waktunya. Hal yang menyebabkan hasil estimasi yang kurang sempurna diakibatkan oleh AWGN (*Average Weight Gaussian Noise*). Hasil dari pembacaan sensor dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Hasil pembacaan Kalman Filter tiap node

Waktu(dtk)	Suhu node 1 ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu node 2 ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu node 3 ($^{\circ}\text{C}$)
1	36,3005	102,9746	65,2774
2	33,9043	62,3883	62,4929
3	37,9043	40,2516	64,0046
4	36,8615	66,1710	63,2187
5	37,1688	52,9390	65,1056
6	37,9219	60,2720	64,8404
7	34,6338	38,9258	63,7629
8	34,2425	48,5158	68,4084
9	36,9525	47,4963	65,6429
10	32,2056	27,0554	64,0387

4.6 Analisa hasil dari simulasi menggunakan algoritma Kalman Filter terdistribusi dengan melalui tahap konsensus.

Pada bab ini akan dilakukan penganalisaan tentang algoritma Kalman Filter terdistribusi dengan melalui tahap consensus. Hasil dari simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4.15 Hasil estimasi Kalman Filter melalui tahapan konsensus

Dari gambar diatas dapat dilihat kinerja dari consensus adalah membaca suhu rata-rata yang dibaca oleh masing-masing sensor. Kita juga bisa melihat bahwa pembacaan hasil estimasi kalman filter berubah-ubah setiap waktunya. Hasil dari estimasi dapat dilihat pada tabel 4.4.

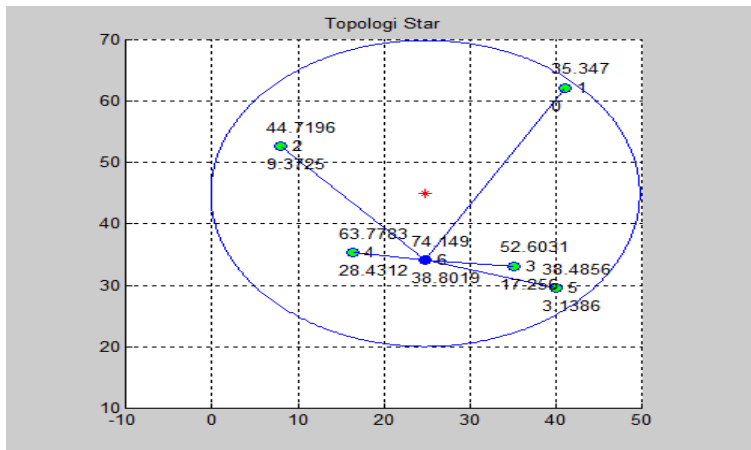
Tabel 4.4 Hasil pembacaan Kalman Filter hasil konsensus

Waktu	Pembacaan Konsensus	Pembacaan Kalman
1	58,1 ⁰ C	58,75 ⁰ C
2	55,22 ⁰ C	56,5 ⁰ C
3	55,22 ⁰ C	55,75 ⁰ C
4	55,22 ⁰ C	53,75 ⁰ C
5	55,22 ⁰ C	54,75 ⁰ C
6	55,22 ⁰ C	55 ⁰ C
7	55,22 ⁰ C	55,5 ⁰ C
8	55,22 ⁰ C	55,75 ⁰ C
9	55,22 ⁰ C	54,75 ⁰ C
10	55,22 ⁰ C	53,75 ⁰ C

Hal yang menyebabkan hasil estimasi yang kurang sempurna diakibatkan oleh AWGN (*Average Weight Gaussian Noise*).

4.7 Simulasi Pengamatan dengan Posisi Sumber Api yang Berbeda.

Pada sub bab ini akan dijelaskan tentang pengamatan perhitungan Kalman Filter dengan posisi yang berbeda. Pada pengamatan ini luas daerah yang digunakan tetap 100 x 100 m dan jari-jari ruang lingkup sumber api adalah 25 m. Sedangkan jumlah node yang masuk dalam ruang lingkup sumber api adalah sebanyak 6 buah sensor. Pada percobaan ini kita bisa melihat konektivitas antar node, koordinat tiap-tiap node sensor aktif, dan pembacaan suhu dari tiap-tiap sensor yang aktif pada gambar 4.16.



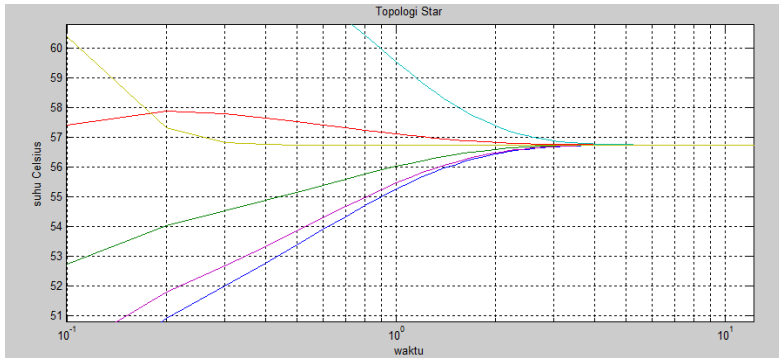
Gambar 4.16 konektivitas antar node dan pembacaan suhu tiap node percobaan kedua

Dari gambar diatas kita bisa melihat bahwa terdapat 6 buah node sensor yang masuk dalam ruang lingkup sumber sinyal. Dari gambar diatas juga diketahui node yang berwarna biru merupakan node inti yang menjadi inti dari semua node sensor yang aktif. Dari gambar 4.16 dapat diketahui kedudukan node aktif dan pembacaan suhu yang bisa kita lihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Kedudukan node aktif dan pembacaan suhu percobaan kedua

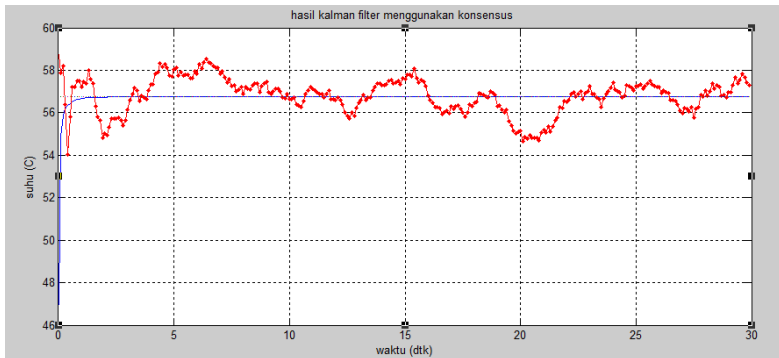
Node	Koordinat x (m)	Koordinat y (m)	Suhu ($^{\circ}$ C)
1	41,0941	62,2780	35,347
2	7,9558	52,7551	44,7196
3	35,1407	33,1477	52,6031
4	16,3635	35,3982	63,7783
5	40,0959	29,5238	38,4856
6	24,7768	34,0814	74,149

Dari pembacaan sensor masing-masing node yang berbeda, akan dilakukan perhitungan menggunakan algoritma konsensus agar pembacaan dari tiap-tiap node yang berbeda menjadi satu pembacaan.



Gambar 4.17 Hasil dari algoritma konsensus percobaan kedua

Dari gambar diatas dapat diketahui pembacaan sensor tiap-tiap node menjadi konvergen pada suhu $56,3794^{\circ}\text{C}$ pada detik ke-4. Setelah mendapatkan hasil pembacaan suhu yang konvergen akan dilanjutkan dengan melakukan perhitungan algoritma Kalman Filter.



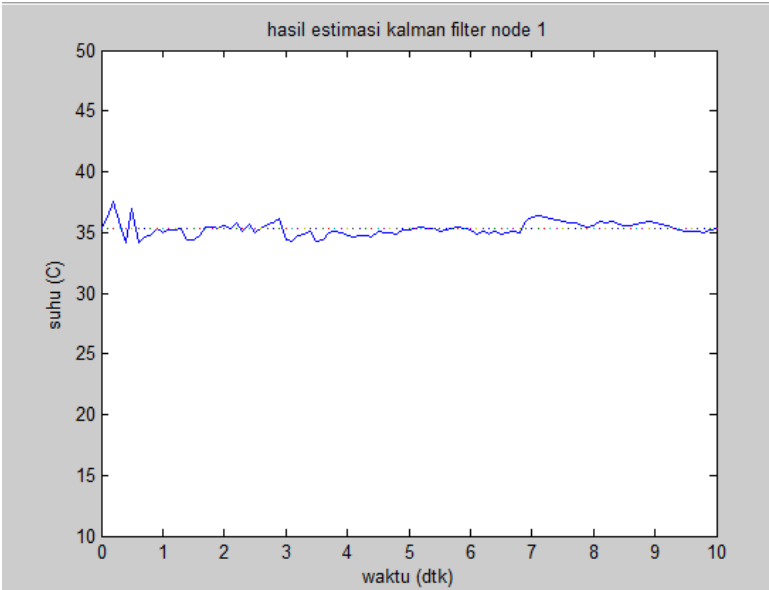
Gambar 4.18 Hasil estimasi Kalman Filter melalui tahapan konsensus percobaan kedua

Dari gambar diatas dapat dilihat kinerja dari consensus adalah membaca suhu rata-rata yang dibaca oleh masing-masing sensor. Kita juga bisa melihat bahwa pembacaan hasil estimasi kalman filter berubah-ubah setiap waktunya. Hasil dari estimasi dapat dilihat pada tabel 4.6.

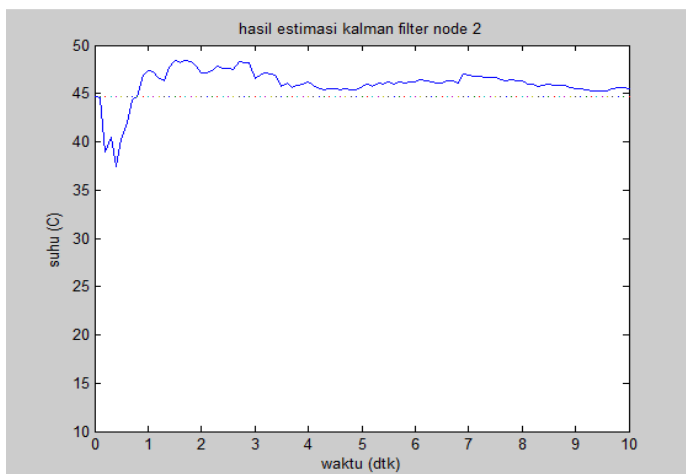
Tabel 4.6 Hasil pembacaan Kalman Filter hasil konsensus percobaan kedua

Waktu	Pembacaan konsensus	Pembacaan Kalman
1	56,6504 ⁰ C	58,75 ⁰ C
2	56,7350 ⁰ C	55 ⁰ C
3	56,7392 ⁰ C	56,25 ⁰ C
4	56,7394 ⁰ C	57.5 ⁰ C
5	56,7394 ⁰ C	58 ⁰ C
6	56,7394 ⁰ C	57,75 ⁰ C
7	56,7394 ⁰ C	57,25 ⁰ C
8	56,7394 ⁰ C	56,75 ⁰ C
9	56,7394 ⁰ C	57 ⁰ C
10	56,7394 ⁰ C	56,15 ⁰ C

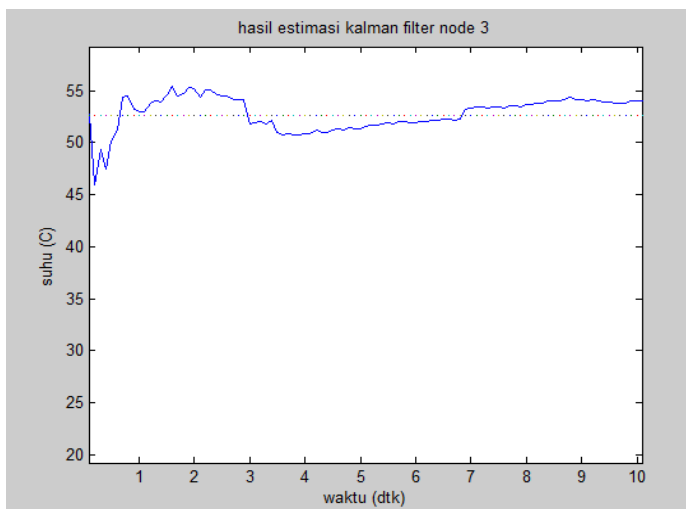
Hasil dari Kalman Filter menggunakan konsensus akan dibandingkan dengan Kalman Filter tanpa menggunakan konsensus.



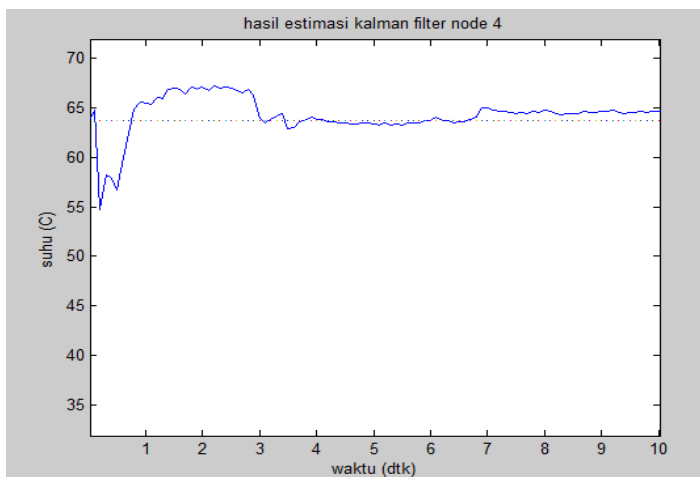
Gambar 4.19 Hasil Kalman Filter pada node 1 percobaan kedua



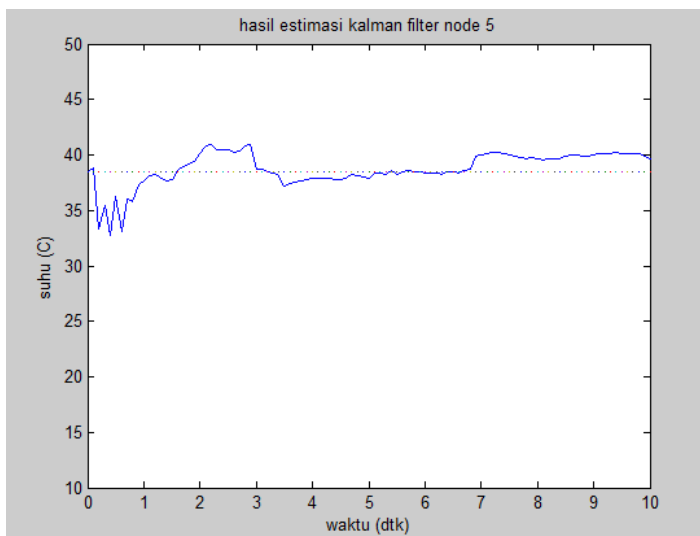
Gambar 4.20 Hasil Kalman Filter pada node 2 percobaan kedua



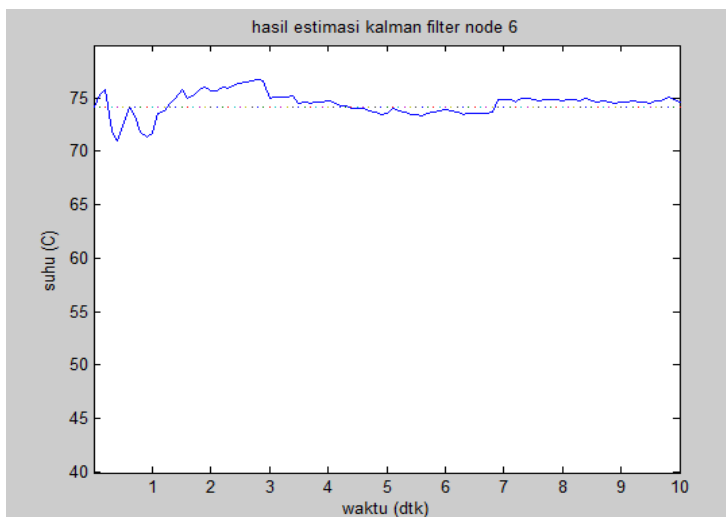
Gambar 4.21 Hasil Kalman Filter pada node 3 percobaan kedua



Gambar 4.22 Hasil Kalman Filter pada node 4 percobaan kedua



Gambar 4.23 Hasil Kalman Filter pada node 5 percobaan kedua



Gambar 4.24 Hasil Kalman Filter pada node 6 percobaan kedua

Dari gambar-gambar diatas dapat diperoleh nilai-nilai pembacaan sensor dari tiap-tiap node yang dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil pembacaan Kalman Filter tiap node pada percobaan kedua

waktu (dtk)	Node 1 ($^{\circ}\text{C}$)	Node 2 ($^{\circ}\text{C}$)	Node 3 ($^{\circ}\text{C}$)	Node 4 ($^{\circ}\text{C}$)	Node 5 ($^{\circ}\text{C}$)	Node 6 ($^{\circ}\text{C}$)
1	35,2678	46,9326	53,2217	65,5558	37,2847	71,2680
2	35,3208	47,8203	55,3347	66,8716	39,4829	75,9447
3	36,1810	48,2340	54,1656	66,2981	40,9436	76,5999
4	34,9395	45,9528	50,8045	64,0877	37,8306	74,5996
5	35,1637	45,3261	51,3697	63,4592	38,0228	73,3708
6	35,2980	46,2411	51,9791	63,6682	38,4624	73,7627
7	35,8963	46,9939	53,2361	65,0664	39,8706	74,8384
8	35,4340	46,3457	53,4986	64,5311	39,7151	74,8235
9	35,9627	46,5640	54,1483	64,5730	39,8973	74,5281
10	35,1797	45,6722	53,9780	64,6676	39,8452	74,8715

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah:

1. Algoritma Kalman Filter menggunakan nilai dari AWGN (*Average Weight Gaussian Noise*) yang berubah-ubah
2. Berdasarkan pengujian, konektivitas dari nilai matrix Laplacian sangat berpengaruh terhadap waktu yang akan diestimasi yang diperlukan dalam algoritma Kalman Filter
3. Berdasarkan simulasi hasil yang didapat lebih efektif jika menggunakan consensus daripada tidak menggunakan consensus karena pembacaan sensor yang diestimasi hanya satu sensor.
4. Berdasarkan hasil dari simulasi Algoritma Kalman Filter dengan menggunakan consensus didapatkan nilai $54,261^{\circ}\text{C}$ sedangkan pada algoritma kalman filter yang diterapkan pada setiap node didapatkan nilai pembacaan suhu 34.2387°C pada node 1, nilai 48.6934°C pada node 2, dan nilai $64,0837^{\circ}\text{C}$ pada node 3.
5. Dari hasil simulasi didapatkan kesimpulan bahwa Algoritma Kalman Filter dengan menggunakan consensus lebih efisien karena sensor yang dibaca merupakan hasil dari pembacaan sensor yang konvergen.

5.2 Saran

Pada pengembangan berikutnya dapat dilakukan dengan menambah jumlah node sensor, perubahan Topologi untuk mengetahui tingkat performansi Kalman Filter yang lebih kompleks pada Jaringan Sensor Nirkabel.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

LAMPIRAN

List Program

close all, clear all, clc

%parameter sistem

gama=0.05;

konstanta_S_B=0.0000000567;

E_ball=0.2;

l=0.8;

t=10; %konstanta api

s=RandStream('mt19937ar','Seed',28);

RandStream.setDefaultStream(s);

%sumber sinyal

sumbersinyalx=100*rand();

sumbersinyaly=100*rand();

plot(sumbersinyalx,sumbersinyaly,'*')

hold on


```
%lingkup sumber sinyal
```

```
theta = 0 : 0.01 : 2*pi;
```

```
radius = 25;
```

```
lingkarx = radius * cos(theta) + sumbersinyalx;
```

```
lingkary = radius * sin(theta) + sumbersinyaly;
```

```
plot(lingkarx, lingkary);
```

```
axis square;
```

```
xlim([0 105+radius]);
```

```
ylim([0 105+radius]);
```

```
grid on;
```

```
%plot sensor diluar lingkup sumber sinyal
```

```
jnode luar=20;
```

```
x=100*rand(jnode luar,1);
```

```
y=100*rand(jnode luar,1);
```

```
plot(x,y,'or')
```

```
%plot sensor didalam lingkup sumber sinyal
```

```
jumlahnode=3;
```

```

for it=1:jumlahnode

    x(it)=100*rand();

    y(it)=100*rand();

    while 1

        if (x(it)-sumbersinyalx)^2+(y(it)-sumbersinyaly)^2>radius^2

            x(it)=100*rand();

            y(it)=100*rand();

        else

            nodeaktifx(it)=x(it);

            nodeaktify(it)=y(it);

            dnodeaktif(it)=d(it);

            break

        end

    end

end

plot(x,y,'or')

%hitungan node aktif

nodeaktifx=nonzeros(nodeaktifx);

```

```

nodeaktif=nonzeros(nodeaktif);
dnodeaktif=nonzeros(dnodeaktif);
figure(2), hold on, grid on
plot(sumbersinyalx,sumbersinyaly,'r*')
plot(lingkarx, lingkary); axis square
plot(nodeaktifx,nodeaktif,'o','MarkerFaceColor','g')
title('Topologi K-cored Star');

a=zeros(1,length(nodeaktifx));
b=zeros(length(nodeaktifx),length(nodeaktifx));
c=zeros(length(nodeaktifx),length(nodeaktifx));
d=zeros(length(nodeaktifx),length(nodeaktifx));
for i=1:length(nodeaktifx)
    text(nodeaktifx(i),nodeaktif(i),[' ' num2str(i)])
end
q=sort(dnodeaktif,'descend');
pusatstar1=find(dnodeaktif==q(1));
plot(nodeaktifx(pusatstar1),nodeaktif(pusatstar1),'o','MarkerFaceColor'
,'b')
a(pusatstar1)=1;

```

```

% pusatstar2=find(dnodeaktif==q(2));

%
plot(nodeaktifx(pusatstar2),nodeaktify(pusatstar2),'o','MarkerFaceColor'
,'b')

% a(pusatstar2)=1;

%Menggarisi nodecabang dengan nodepusatstar

for i=1:length(nodeaktifx)

    dpusat(i)=sqrt((nodeaktifx(i)-
nodeaktifx(pusatstar1)).^2+(nodeaktify(i)-nodeaktify(pusatstar1)).^2);

end

dpusat(pusatstar1)=999;

sortdpusat=nonzeros(sort(dpusat));

for i=1:2

    cabang1(i)=find(dpusat==sortdpusat(i));

    a(cabang1(i))=1;

    line([nodeaktifx(pusatstar1)
nodeaktifx(cabang1(i))],[nodeaktify(pusatstar1)
nodeaktify(cabang1(i))])

    b(pusatstar1,cabang1(i))=1;

    b(cabang1(i),pusatstar1)=1;

```

```

% line([nodeaktifx(pusatstar2)
nodeaktifx(cabang1(i))],[nodeaktify(pusatstar2)
nodeaktify(cabang1(i))])

% b(pusatstar2,cabang1(i))=1;

% b(cabang1(i),pusatstar2)=1;

end

i=length(c);

% i=3;

%perhitungan suhu

I=300*(l.^2); %l=panjang api

for z=1:i

    Q(z,1)=60*(1-exp(-I/(300*dnodeaktif(z,1)))); %konstanta suhu tiap
node

    suhu(z,1)=t.*Q(z,1); %suhu tiap node

    P(z,1)=konstanta_S_B*(suhu(z,1))^4; %mungkin daya suhu..

    if suhu(z,1)>1000

        suhu(z,1)=1000;

        P(z,1)=konstanta_S_B*(suhu(z,1))^4;

    else if suhu(z,1) <=1000

        suhu(z,1)=suhu(z,1);

```

```

        P(z,1)=P(z,1);

    end

end

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Penulisan Pembacaan Suhu dan Error
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

for i=1:length(nodeaktifx)

    text(nodeaktifx(i)-3,nodeaktify(i)+3,[' ' num2str(suhu(i,1))])

end

%asumsi : error adalah selisih dengan pembacaan pada node terdekat.

sortsuhu=sort(suhu);

suhupusat=(suhu(1));

for i=1:length(nodeaktifx)

    errorsuhunode(i)=suhu(i,1)-suhupusat;

    text(nodeaktifx(i)-3,nodeaktify(i)-3,[' ' num2str(errorsuhunode(i))])

end

```

%% Konsensus DCA Algorithm

%%

for i=1:length(c)

 c(i,i)=sum(b(i,:));

end

laplace=c-b;

iterasi=0;

daya_optimasi=P;%rata2;

miu=rand()/(max(max(c)));

jumlah_iterasi=100;

for z=1:jumlah_iterasi;

 A(1,:)=iterasi;

 if iterasi==0

 suhu_proses_and(z,:)=suhu;

 else if iterasi~=0

 D=(eye(i)-miu*laplace);

 daya_optimasi=D*daya_optimasi;

```

f(z,:)=daya_optimasi;

suhu_proses_and(z,:)=suhu_and;

%      plot_suhu_proses_and(t,:)=suhu_and;

%      sipon(z,:)=suhu_proses_and(z,1);

    end

end

    iterasi=iterasi+1;

end

for z=1:jumlah_iterasi;

    suhu_proses_rata(z)=(suhu_proses_and(z,1)+suhu_proses_and(z,1)+suhu_proses_and(z,1))/3;

end

figure(5)

% for z=1:jumlah_iterasi;

%      s1(z)=suhu_proses_and(z,1);

% end

t=0:0.1:9.9;

plot(t,suhu_proses_and), hold on, grid on

```



```
figure(6)
```

```
plot(t,suhu_proses_rata);
```

```
%%%%%%%%%%%%%% Kalman Filtering Hasil Konsensus  
%%%%%%%%%%%%%%
```

```
A=[0 1;0 0];
```

```
Bw=[0;1];
```

```
Cm=[1 0];
```

```
Sw=4;
```

```
Sv=10^4;
```

```
sigma0=[10^6 0;0 400000];
```

```
tf=10;
```

```
dt=0.1;
```

```
t=0:dt:tf;
```

```
% white noise
```

```
n = length(t);
```

```
w = sqrt(Sw)*randn(1,n);
```

```
v = sqrt(Sv)*randn(1,n);
```

```
% matriks transisi
```

```
F=[-(A') (Cm')*Sv^-1*Cm;Bw*Sw*(Bw') A];
```

```
suhu_konsensus=suhu_proses_rata;
```

```
% nilai awal actual
```

```
s1(1)=suhu_proses_rata(1);
```

```
s2(1)=0;
```

```
% menghitung kalman gain
```

```
p=1;
```

```
for t=0:dt:tf
```

```
expF=expm(F*(t));
```

```
st=(psi21+psi22*sigma0)*(psi11+psi12*sigma0)^-1;
```

```
G=st*Cm'*Sv^-1;
```

```
G1(p)=G(1);
```

```
G2(p)=G(2);
```

```
p=p+1;
```

end

r=[s1;s2];

m = Cm*r+v;

se1(1)=s1(1)-2;

se2(1)=s2(1)-2;

% memplot actual dengan estimate

f1a=inline('se2+G1*(m-se1)');

f2a=inline('G2*(m)');

for i=1:n-1

se1(i+1)=se1(i)+dt*f1a(G1(i),m(i),se1(i),se2(i));

se2(i+1)=se2(i)+dt*f2a(G2(i),m(i),se1(i));

end

figure(7)

t=0:dt:tf;

plot(t,se1); hold on; grid on;

```
plot(t,s1);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Kalman Filtering Tiap  
Node%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% Penentuan Komponen Target State Sensor
```

```
A=[0 1;0 0];
```

```
Bw=[0;1];
```

```
Cm=[1 0];
```

```
Sw=100;
```

```
Sv=10^2;
```

```
sigma0=[10^6 0;0 400000];
```

```
tf=10;
```

```
dt=0.1;
```

```
t=0:dt:tf;
```

```
% white noise
```

```
n = length(t);
```

```
w = sqrt(Sw)*randn(1,n);
```

```
v = sqrt(Sv)*randn(1,n);
```

```
% matriks transisi
```

```
F=[-(A') (Cm')*Sv^-1*Cm;Bw*Sw*(Bw') A];
```

```
iter=0;
```

```
for iter=1:1000
```

```
    for z=1:3
```

```
        suhu_aktual(iter,z)=suhu(z,1);
```

```
%        suhu_estimasi(iter,z)=suhu(z,1)+wgn(1,1,1);
```

```
    end
```

```
end
```

```
% nilai awal actual
```

```
s1(1)=suhu_aktual(1,1);
```

```
s2(1)=suhu_aktual(1,2);
```

```
% menghitung kalman gain
```

```
p=1;
```

```
for t=0:dt:tf
```

```
    expF=expm(F*(t));
```

```
G=st*Cm'*Sv^-1;
```

```
G1(p)=G(1);
```

```
G2(p)=G(2);
```

```
p=p+1;
```

```
end
```

```
r=[s1;s2];
```

```
m = Cm*r+v;
```

```
se1(1)=s1(1)-2;
```

```
se2(1)=s2(1)-2;
```

```
% memplot actual dengan estimate
```

```
f1a=inline('se2+G1*(m-se1)');
```

```
f2a=inline('G2*(m)');
```

```
for i=1:n-1
```

```
se1(i+1)=se1(i)+dt*f1a(G1(i),m(i),se1(i),se2(i));
```

```
se2(i+1)=se2(i)+dt*f2a(G2(i),m(i),se1(i));
```

end

figure(3)

t=0:dt:tf;

plot(t,se1); hold on;

plot(t,s1); hold on;

% axis([0 25 0 15000])

figure(4)

t=0:dt:tf;

plot(t,se2); hold on;

plot(t,s2);

% axis([0 25 -500 200])

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saber, R. Olfati., “Distributed Kalman Filtering for Sensor Network”,
- [2] Kamgarpour; Maryam and Tomlin, Claire., “Converge Properties of a Decentralized Kalman Filter”, IEEE, 2008.
- [3] Eubank, R. L.,”A Kalman Filter Primer”, Arizona State University, 2006
- [4] Freerick K., “Design and Incorporation of Spotting and Breaching of Fire Break Functionally”, Post Fire Research Workshop, 2005.
- [5] Fahmi I.,”Algoritma Konsensus Terdistribusi dengan Menggunakan Komunikasi yang Tidak Sempurna pada Jaringan Sensor Nirkabel”, Buku Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2010.
- [6] Gede, Gilbert.,”Introduction to Kalman Filtering An Engineer’s Perspective”, Presentasi, 2011.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

Riwayat Penulis



Penulis yang mempunyai nama lengkap Evan Satya Prabowo dilahirkan pada tanggal 25 Oktober 1990 di Surabaya, Jawa Timur. Lahir sebagai anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Sukarno dan Retnani Yoedowati. Pada tahun 2002, lulus dari SD Negeri Ketabang III Surabaya dan melanjutkan studi ke SMPN 6 Surabaya. Pada tahun 2005 dinyatakan lulus dan kemudian penulis melanjutkan studinya ke SMAN 9 Surabaya dan lulus pada tahun 2008. Setelah lulus dari SMAN 9, penulis melanjutkan studi ke Jurusan Teknik Elektro ITS dan mengambil bidang studi Telekomunikasi Multimedia. Penulis dapat dihubungi melalui email ephundud1@gmail.com.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....